

**5.1 Allgemeine Angaben zum beendeten Teilprojekt A4****5.1.1 Titel:**

Ultraschnelle photoinduzierte Prozesse in Clustern von DNA Basen  
Ultrafast photoinduced processes in DNA base clusters

**5.1.2 Fachgebiete und Arbeitsrichtung:**

Molekülphysik, Ultrakurzzeitphysik, Reaktionsdynamik

**5.1.3 Leiter:****Dr. Thomas Schultz**

geb. 16.11.1971  
Dienst- Max-Born-Institut  
anschrift Max-Born-Str. 2 A  
12489 Berlin  
Telefon 030/ 6392 1240  
FAX 030/ 6392 1259  
E-Mail schultz@mbi-berlin.de

**Prof. Dr. Ingolf Hertel**

geb. 09.06.1941  
Dienst- Max-Born-Institut  
anschrift Max-Born-Str. 2 A  
12489 Berlin und  
Institut für Physik – ProMINT Kolleg  
Humboldt Universität zu Berlin  
Telefon 030/ 6392 1204  
FAX 030/ 6392 1209  
E-Mail hertel@mbi-berlin.de

**5.2 Bericht über die Entwicklung des Teilprojekts****5.2.1 Bericht**

Ziel der Arbeiten im Rahmen des SFB-450 war die Aufklärung photochemischer Prozesse in biologischen Chromophoren und Chromophorclustern, mit Fokus auf DNA Basen. Die mit der elektronischen Struktur verbundene photoinduzierte Reaktionsdynamik in natürlichen und chemisch modifizierten Basenpaaren und Solvens Clustern sollte durch Femtosekunden zeitaufgelöste Massenspektrometrie und Elektronen-Ionen Koinzidenzspektroskopie aufgeklärt werden. Zum einen sollte die Beziehung zwischen Struktur und Grösse der untersuchten Molekülclustern und daran gekoppelten photochemischen Prozessen (UP1)

entschlüsselt werden, zum anderen sollte die elektronische Struktur entlang der Reaktionspfade experimentell charakterisiert werden (UP2). Da die Ergebnisse der beiden Unterprojekte eng zusammenhängen werden sie im folgenden gemeinsam präsentiert.

Die Struktur von DNA ist durch Wasserstoffbrücken und Wechselwirkungen der delokalisierten  $\pi$ -Systeme der DNA Basen geprägt. In einem DNA Einzelstrang hält ein Zuckerphosphatgerüst jeweils benachbarte Basen in einer  $\pi$ -gestapelten Konformation [1]. Im Doppelstrang erlaubt dies die Ausbildung von 2-3 Wasserstoffbrücken zwischen komplementären Basen der zwei Stränge in der berühmten Watson-Crick Konformation [2]. Um die Photochemie natürlicher DNA zu verstehen, ist es somit von besonderer Bedeutung, die jeweiligen Effekte von spezifischen Wasserstoffbrücken und  $\pi$ -Stapelwechselwirkungen zu charakterisieren. Ein weiteres wichtiges Element sind Lösungsmittelleffekte durch Wasser, welches zum einen eine Rolle als polarisierbare Umgebung spielt, zum anderen auch spezifische Wasserstoffbrücken ausbilden kann

Theoretische Arbeiten zur Photochemie von Basenpaaren [3,4] weisen auf eine besondere Bedeutung der Wasserstoffbrücken hin: Angeregte Zustände in Watson-Crick verbrückten Adenin-Thymin und Guanin-Cytosin Basenpaaren können über einen Protonengekoppelten Elektronentransfer (PCET) in den Grundzustand relaxieren. Die beschleunigte Relaxation verringert die Wahrscheinlichkeit destruktiver photochemischer Reaktionen. Die daraus resultierende erhöhte Photostabilität gegenüber ultravioletter Strahlung war möglicherweise ein wichtiger evolutionären Faktor.  $\pi$ -Stapelwechselwirkungen im Einzel- oder Doppelstrang können ebenfalls einen großen Einfluss auf die photochemischen Prozesse nehmen. In der flüssigen Phase wurden Excimer-Zustände zwischen gestapelten Adenin und Thymin Basen beschrieben [5], wobei diese Interpretation weiter kontrovers diskutiert wird [6,7].

#### *(a) Elektronische Struktur und Dynamik in isolierten DNA Basen*

Das Verständnis photochemischer Prozesse in DNA Basenclustern verlangt nach entsprechend guter Charakterisierung entsprechender Prozesse in den Monomeren. Für die Base Cytosin ergibt sich eine besondere Problematik: Existierenden Daten mit sub-Nanosekunden Zeitauflösung [8-10] basieren auf einer Anregung mit 250-267 nm Photonen und können nicht eindeutig dem biologisch relevanten Keto Tautomer oder alternativ den

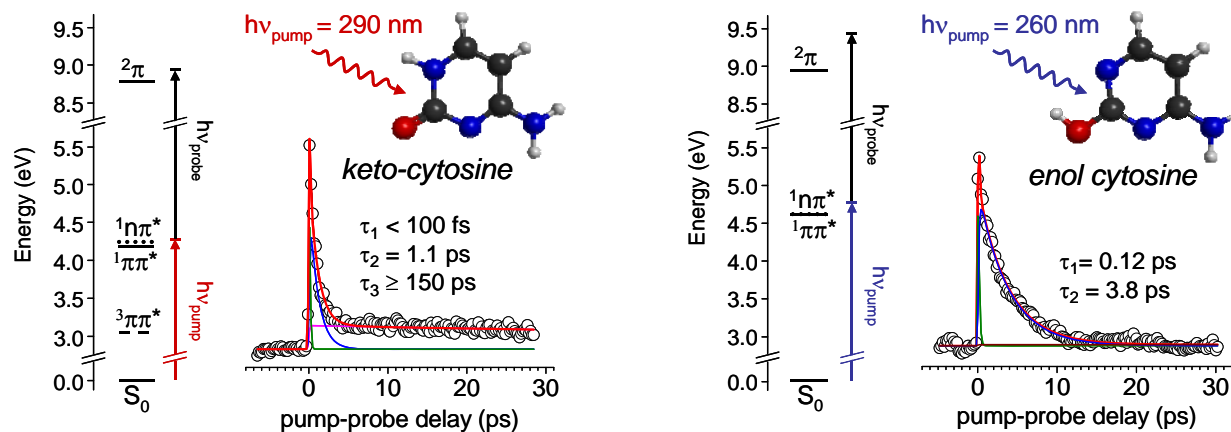


Fig. 1: Dynamik angeregter Zustände in den Keto und Enol Tautomeren von Cytosin. Die Energien relevanter angeregter und ionischer Zustände sind der Literatur entnommen [11,13,18]. Relaxation des Keto Tautomers erfolgt vermutlich über Zustände von  $\pi\pi^*$ ,  $n\pi^*$  und  $^3\pi\pi^*$  Charakter mit sub-ps bis ns Lebensdauer. Deutlich kürzere Lebensdauern im Enol Tautomer werden der internen Konversion  $\pi\pi^* \rightarrow n\pi^*$  und  $n\pi^* \rightarrow$  Grundzustand zugeordnet.

Enol oder Keto-Imino Tautomeren zugeordnet werden. Zahlreiche theoretische Arbeiten über Prozesse im angeregten Zustand des Keto Tautomers (z.B. Ref. [11-17]) können dementsprechend nicht mit experimentellen Daten verglichen werden. Wie in Fig. 1 gezeigt, konnten wir durch Anregung im Wellenlängenbereich von 260-290 nm die Relaxationsdynamik der Keto und Enol Tautomere unterscheiden [KSS09]. Das biologisch relevante Keto Tautomer relaxiert in einem dreistufigen Prozess, vermutlich über Zustände mit  $n\pi^*$  und Triplet Charakter, oder aber über Tautomerisierung im angeregten Zustand. Die Relaxation im Enol Tautomer erfolgt über zwei Schritte; Triplet Zustände spielen hier keine Rolle. Die genaue Zuordnung der angeregten Zustände anhand von Photoelektronenspektren ist in Arbeit und erfolgt in Zusammenarbeit mit der Gruppe Gonzales (Teilprojekt C9).

Die photochemischen Prozesse in Thymin Tautomeren und Thymin-Wasser Clustern wurde durch eine Kombination von zeitaufgelöster Spektroskopie und *ab initio* Theorie untersucht (Zusammenarbeit mit Teilprojekt C9, Fig. 2). Erwartete Relaxationskanäle unter Beteiligung von  $\pi\sigma^*$  Zuständen und eine Tautomerisierung im angeregten Zustand konnten hier ausgeschlossen werden [GG09]. Die Zuordnung von drei an der Relaxation beteiligten elektronischen Zuständen durch Photoelektronenspektren ist in Arbeit.

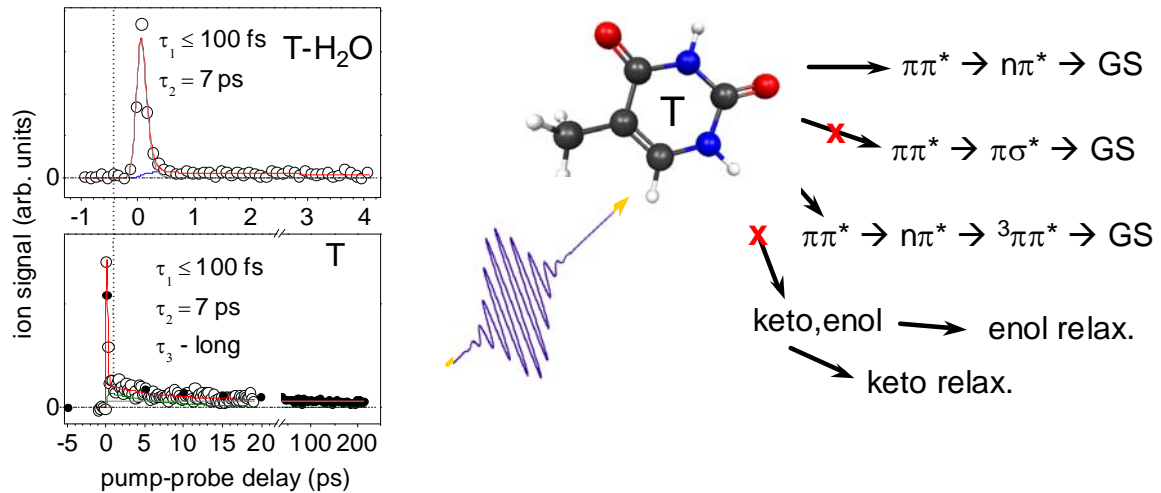


Fig. 2: Zeitaufgelöste Ionensignale von Thymin (unten links) zeigen Zustände mit ps und ns Lebensdauern; in Thymin-Wasserclustern (oben links) sind diese weitgehend unterdrückt. Relaxations-kanäle werden durch ab initio Rechnungen (Teilprojekt C9) vorgeschlagen (rechts).

Die angeregten Zustände in protonierten Basen sind jenen der unprotonierten Basen ähnlich, aber es existieren wenig zeitaufgelöste Experimente welche die Relaxationskanäle protonierter Moleküle charakterisieren. In einer Zusammenarbeit mit der Gruppe Weinkauff (Heinrich-Heine Universität Düsseldorf) wurde ein Experiment zur Untersuchung protonierter Moleküle in einer Paul-Falle aufgebaut und zur Untersuchung angeregter Zustände in protoniertem Adenin genutzt [NWH07]. Die in Fig. 3 skizzierten Experimente zeigten eine barrierelose Relaxation des angeregten  $\pi\pi^*$  Zustandes in Übereinstimmung mit theoretische Vorhersagen [19]. Nach Pionierarbeiten der Gruppe von Jouvet [20] war dies das weltweit zweite Experiment mit der Fähigkeit ultraschnelle Reaktionen in komplexen, protonierten

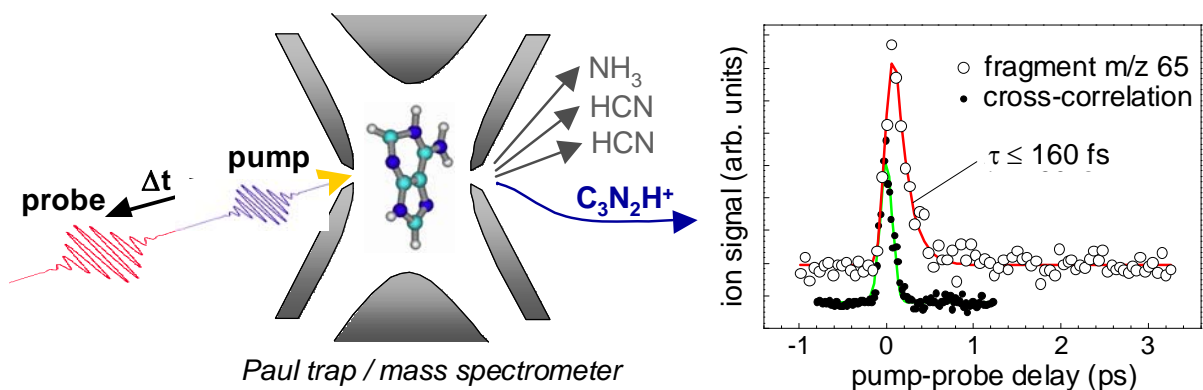


Fig. 3: Pump-Probe Fragmentationsspektroskopie von protoniertem Adenin. Moleküle in einer Paulfalle wurden mit femtosekunden UV-Pump- und IR-Probepulsen bestrahlt. Spezifische Fragmentationskanäle im angeregten Zustand, z.B. die Bildung eines  $C_3N_2H^+$  Fragments mit  $m/z=65$ , wurden als Funktion der Verzögerung zwischen Pump- und Probepuls beobachtet und charakterisieren eine barrierelose Relaxation angeregter  $\pi\pi^*$  Zustände.

Molekülen zu untersuchen.

(b) Intermolekulare Prozesse in Basenclustern

Die Existenz des intermolekularen PCET Relaxationskanals wurde erstmals in dem Modell-Basenpaar 2-Aminopyridin Dimer experimentell nachgewiesen [21]. Der Reaktionsmechanismus liess sich in dieser Förderperiode durch zeitaufgelöste Massen- und Elektronenspektroskopie erschöpfend charakterisieren und ist durch eine ausgeprägte Reaktionsbarriere entlang der Wasserstofftransfer-Koordinate geprägt [22,SRR09]. Experimentelle Daten und die Zuordnung beobachteter Relaxationskanäle sind in Fig. 4 dargestellt.

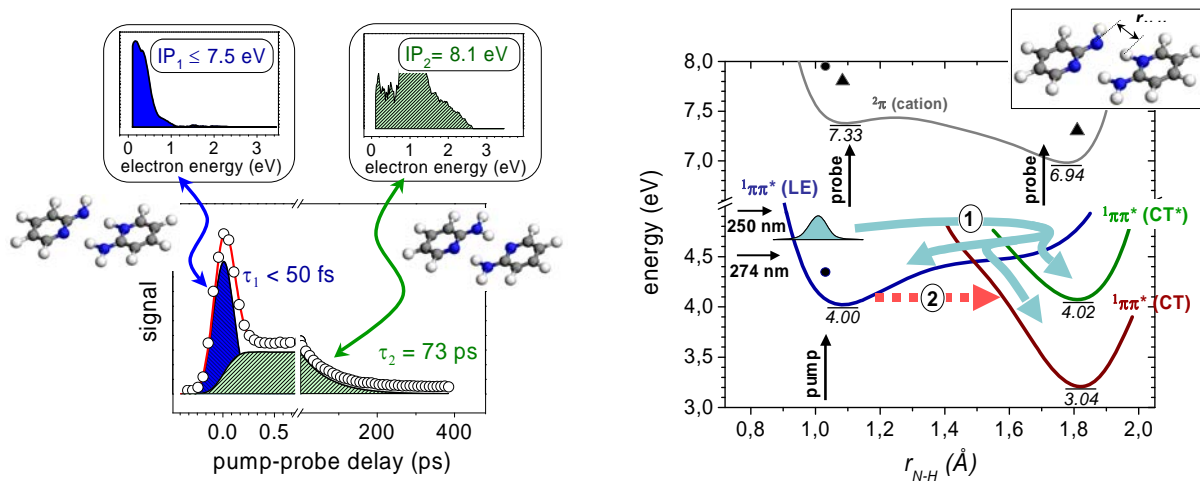


Fig. 4: Spektroskopische Daten (links) und berechnete Potentialflächen (rechts) für 2-Aminopyridin Dimer. Zeitaufgelöste Elektronen und Massenspektren identifizieren die Struktur und Dynamik angeregter Zustände in einer Wasserstofftransfer Geometrie (voll) und einer lokal-angeregten Geometrie (schraffiert). Berechnete vertikale ( $\blacktriangle$ ) und adiabatische ( $\bullet$ ) Anregungs- und Ionisationspotentiale reproduzieren experimentelle Werte. Pfeile illustrieren die Relaxationswege im angeregten Zustand.

Vergleichbare Untersuchungen an dem Adenin-Thymin Basenpaar [23,GSS07] [SSH08] deckten ein deutlich komplexeres photochemisches Verhalten auf. Asymmetrische Clusterfragmentation im Ion erschwerte in diesem Fall die Zuordnung der beteiligten elektronischen Zustände. Wie in Fig. 5 ersichtlich, sind die photochemisch angeregten Zustände in dem Adenin-Thymin Basenpaar zunächst sehr ähnlich denjenigen in den Adenin und Thymin Monomeren. Bei zeitlicher Verzögerung von Pump- und Probestrahl liess sich jedoch die Existenz eines bisher unbekanntes delokalisierten Zustandes mit einer Lebensdauer von 30-50 ps nachweisen. Die Zuordnung dieses Zustandes mithilfe von Experiment und Theorie wird durch die Existenz einer Vielzahl verschiedener Clusterisomere

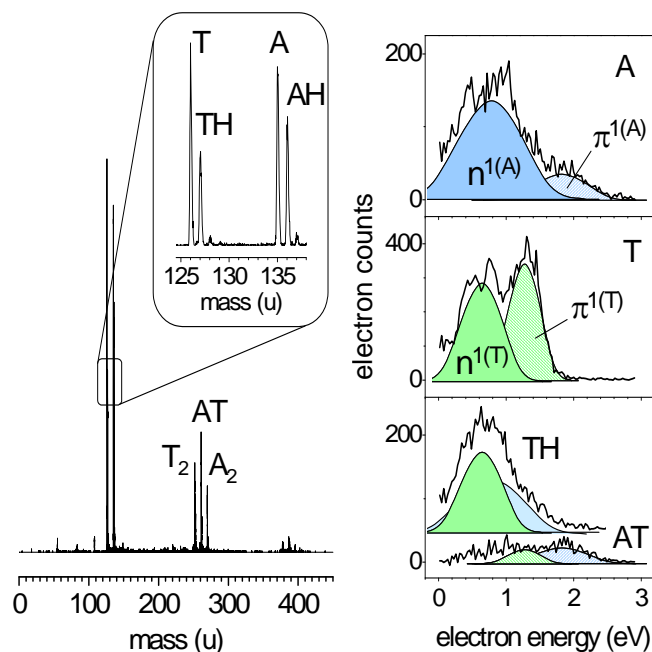


Fig. 5: Elektronen-Ionen Koinzidenzspektroskopie in einem Adenin-Thymine Clusterstrahl bei zeitlichem Überlapp von 266 nm Anregungs- und 400 nm Probestrahl. Eine Projektion auf die Massenachse (links) zeigt Basen Monomere (A, T), Basenpaare ( $T_2$ , AT,  $A_2$ ) und protonierte Basen (AH, TH). Koinzidente Elektronenspektren (rechts) erlauben die Zuordnung von Ionisationskanälen in  $\pi^1$  und  $n^1$  ionische Zustände der Basen und Basenpaare. Für das Basenpaar AT scheint die Ionisation in den  $n^1$  Zustand unterdrückt: entsprechende Signale werden durch ionische Clusterfragmentation in den Masskanal der protonierten Monomere versetzt.

erschwert. Eine Methode für entsprechende isomerenselektive Messungen existiert bislang nicht, aber ein vielversprechender Ansatz mithilfe korrelierter Rotationsspektroskopie wurde im Rahmen dieses Projektes etabliert und wird weiter unten besprochen.

Methylierte Basen können nur eine reduzierte Zahl an wasserstoffverbrückten Strukturen ausbilden und versprechen einen einfachen Zugang zu strukturselektiven Messungen. In entsprechenden Messungen an methylierten Adenin und Thymin Basenpaaren fanden wir jedoch Anzeichen für gestapelte Basenpaare welche langlebige Excimer Zustände ausbilden. Die strukturselektive Zuordnung wird somit durch einen neuen Grad an Komplexität gehindert und die Publikation der entsprechenden Daten ist noch nicht abgeschlossen [siehe Dissertation Samoylova 2009].

Die Relaxation angeregter  $\pi\pi^*$  Zustände in Adenin und Adenin Dimer erfolgt auf der Pikosekunden-Zeitskala über den  $n\pi^*$  Zustand. In mikrohydrierten Clustern  $A(H_2O)_m$ , wird die Relaxation über den  $n\pi^*$  Zustand durch einen noch schnelleren Relaxationskanal, vermutlich über  $\pi\sigma^*$  Zustände ersetzt [24]. Wie in Fig. 6 dargestellt, wurde für

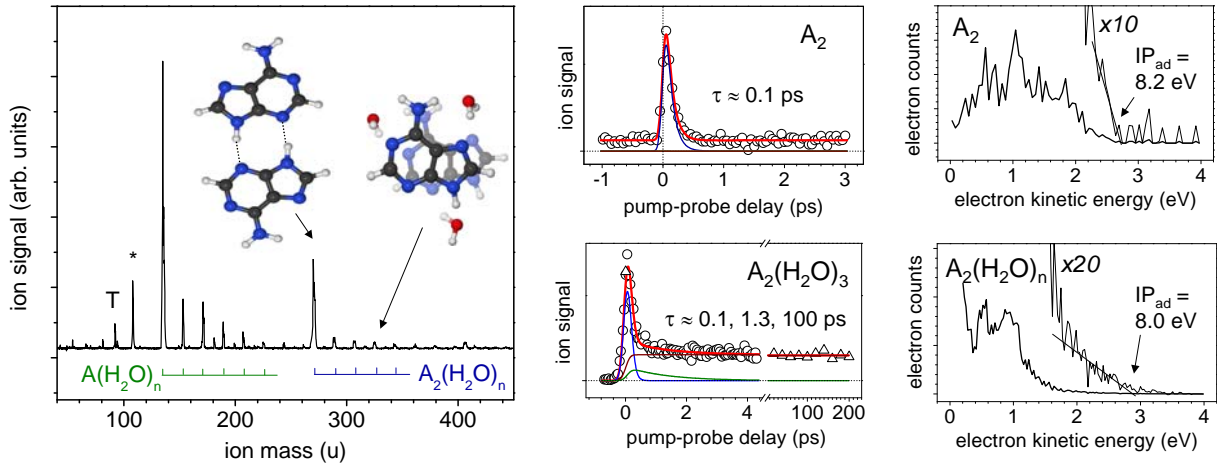


Fig. 6: Femtosekunden Pump-Probe Spektroskopie und Elektronen-Ionen Koinzidenzspektroskopie von Adenin-Wasser Clustern. Massenspektren erlauben die Zuordnung von  $A_n\text{-(H}_2\text{O)}_m$  Clustern (links). Zeitaufgelöste Daten für die einzelnen Massenkanäle zeigen eine sub-Pikosekunden Relaxation angeregter Zustände in  $A_2$ , aber komplexere Dynamik und einen langlebigen Zustand für  $A_2\text{-(H}_2\text{O)}_3$  und andere mikrohydrierte Dimere (Mitte). Das Elektronenspektrum der langlebigen Transiente in hydratisierten Dimeren unterscheidet sich deutlich von dem des unsolvatisierten Dimers und erlaubt die Zuordnung eines Excimer Zustandes (rechts).

mikrohydriertes Adenin-Dimer ein angeregter Zustand mit Nanosekunden Lebensdauer und deutlich anderem Elektronenspektrum beobachtet [SSR10]. Mithilfe von *ab initio* Rechnungen konnte der langlebige Zustand einem Excimer-Zustand in gestapelten Basenpaaren zugeordnet werden. Unsere Daten bestätigen damit die theoretische Vorhersage gestapelter Strukturen in mikrohydrierten Basenpaaren [25]. Die Eigenschaften entsprechender Excimer Zustände wurden im Rahmen einer Zusammenarbeit mit D. Nachtigallova und P. Hobza (Prag) theoretisch untersucht [RHN07, NHR08].

### (c) Methodische Weiterentwicklungen

Fast alle beschriebenen Experimente basieren auf der thermischen Verdampfung von Probenmolekülen und der Erzeugung kalter Molekül- und Clusterstrahlen durch Überschallexpansionen. Das Lösen schwerverdampfbarer Moleküle in überkritischen Fluiden und eine darauffolgende Überschallexpansion der überkritischen Lösung könnte eine alternative Methode zur Erzeugung kalter Molekularstrahlen darstellen, aber die Mechanismen der Expansion und Abkühlung superfluider Substanzen ist nicht vollständig verstanden. In Zusammenarbeit mit der Gruppe von W. Christen und K. Rademann an der Humboldt-Universität Berlin wurde die Molekül- und Clusterbildung in der Expansion von

unter- und überkritischem Ethylen untersucht und die Rotationstemperatur von koexpandierendem Indol gemessen. Die Expansion des überkritischen Ethylens ist von ausgeprägter Clusterbildung begleitet und die erreichbaren Strahltemperaturen von  $\geq 40$  K sind durch die Verdampfungsenthalpie der Cluster geprägt. Die beobachteten Moleküldichten koexpandierender Substanzen im überkritischen Strahl waren leider nicht ausreichend um diese Molekularstrahlquelle für die Untersuchung von DNA Basen und Basenclustern einzusetzen [Diplomarbeit Kieling 2009].

Die weiter oben beschriebenen Clusterexperimente illustrieren die starke Verbindung zwischen der lokalen Struktur in die ein Chromophore eingebettet ist und dessen photochemischen Eigenschaften. Eine detaillierte Analyse dieser "Struktur-Funktions-Beziehung" setzt jedoch die direkte Korrelation (und damit die gleichzeitige Messung) von strukturellen und photochemischen Eigenschaften voraus. Um solch korrelierte Messungen zu ermöglichen, wurde im SFB Projekt die neuartige spektroskopische Methode der korrelierten Rotationsalignment-Spektroskopie (correlated rotational alignment spectroscopy, CRASY) entwickelt. CRASY basiert auf der kohärenten Anregung eines Rotationswellenpakets mit einem Ausrichtungspuls und der zeitabhängigen Abfrage desselben durch optische Anregung. Zur Demonstration der CRASY Methode untersuchten wir das CRASY-Massenspektrum des einfachen Chromophors  $\text{CS}_2$  wie in Fig. 7 dargestellt. In einem einzigen Experiment konnten wir die Rotationsspektren für 9  $\text{CS}_2$  Isotope auflösen, darunter auch Spektren von seltenen Isotopen für welche keine Literaturwerte existieren. Die korrelierten Rotations-

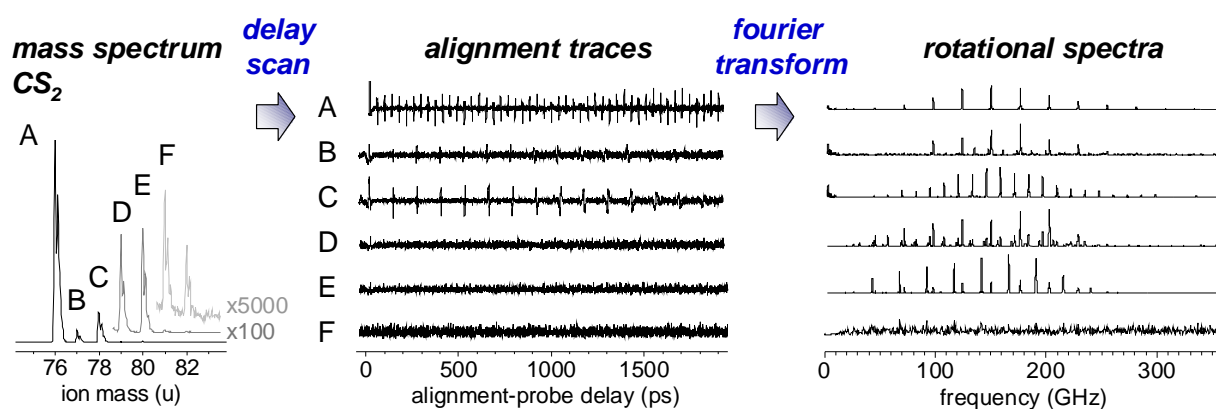


Fig. 7: Im Flugzeit-Massenspektrum (links) lassen sich  $\text{CS}_2$  Isotope mit Massen 76-82, sowie atomare und molekulare Fragmente zuordnen. Bei zeitlicher Verzögerung zwischen Ausrichtungs- und Probepuls werden alle Signale aufgrund von kohärenter Rotationsausrichtung moduliert. Die Fouriertransformation der zeitaufgelösten Daten zeigt die Frequenzkomponenten im angeregten Rotationswellenpaket und damit die Rotationsspektren der jeweiligen Isotope (rechts).



Massenspektren erlauben ausserdem die erschöpfende Charakterisierung von Fragmentationskanälen in unserer Pump-Probe Ionisationsspektroskopie. CRASY-Elektronenspektren wurden ebenfalls gemessen und die hochauflösende rotationsspektroskopische Analyse erlaubt die Korrelation von Elektronen- und Massenspektren, ohne dass zeitaufwendige Koinzidenzexperimente durchgeführt werden müssen. In der Zukunft wird CRASY auf biologische Chromophore angewendet um photochemische Eigenschaften mit experimentell bestimmten Rotationsstrukturen zu korrelieren.

### Literatur

- [1] P.Y. Turpin, L. Chinsky, A. Laigle, B. Jolles, *J. Mol. Struct.* **214**, 43 (1989).
- [2] J.D. Watson, F.H.C. Crick, *Nature* **171**, 737 (1953).
- [3] A.L. Sobolewski, W. Domcke, C. Hattig, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **102**, 17903 (2005).
- [4] S. Perun, A.L. Sobolewski, W. Domcke, *J. Phys. Chem A* **110**, 9031 (2006).
- [5] C.E. Crespo-Hernandez, B. Cohen, B. Kohler, *Nature* **436**, 1141 (2005).
- [6] D. Markovitsi, D. Onidas, T. Gustavsson, F. Talbot, E. Lazzarotto, *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 17130 (2005).
- [7] D. Markovitsi et al., Comment in *Nature* **441**, E7, (2006); see also reply by C.E. Crespo-Hernandez et al. in *Nature* **441**, E8.
- [8] C. Canuel, M. Elhanine, M. Mons, F. Piuzzi, B. Tardivel, I. Dimicoli, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **8**, 3978 (2006).
- [9] H. Kang, K.T. Lee, B. Jung, Y.J. Ko, S.K. Kim, *J. Am. Chem. Soc.* **124**, 12958 (2002).
- [10] S. Ullrich, T. Schultz, M.Z. Zgierski, A. Stolow, *J. Am. Chem. Soc.* **126**, 2262 (2004).
- [11] K. Tomic, J. Tatchen, C.M. Marian, *J. Phys. Chem. A* **109**, 8410 (2005).
- [12] L. Blancafort, *Photochem. Photobiol.* **83**, 603 (2007).
- [13] M. Merchan, L. Serrano-Andres, *J. Am. Chem. Soc.* **125**, 8108 (2003).
- [14] M. Merchan, R. Gonzalez-Luque, T. Climent, L. Serrano-Andres, E. Rodriguez, M. Reguero, D.J. Pelaez, *J. Phys. Chem. B* **110**, 26471 (2006).
- [15] K.A. Kistler, S. Matsika, *J. Phys. Chem. A*, **111**, 2650 (2007).
- [16] H.R. Hudock, T.J. Martinez, *Chemphyschem* **9**, 2486 (2008).
- [17] M.Z. Zgierski, T. Fujiwara, E.C. Lim, *Chem. Phys. Lett.* **463**, 289 (2008).
- [18] O. Dolgounitcheva, V.G. Zakrzewski, J.V. Ortiz *J. Phys. Chem. A* **107**, 822 (2003).
- [19] C. Marian, D. Nolting, R. Weinkauff, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **7**, 3306 (2005).

- [20] H. Kang, C. Jouvét, C. Dedonder-Lardeux, S. Martrenchard, G. Gregoire, C. Desfrancoise, J.-P. Schermann, M. Barat and J. A. Fayeton, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **7**, 394 (2005).
- [21] T. Schultz, E. Samoylova, W. Radloff, I.V. Hertel, A.L. Sobolewski, and W. Domcke, *Science* **306**, 1765 (2004).
- [22] H.H. Ritze, H. Lippert, E. Samoylova, V.R. Smith, I.V. Hertel, W. Radloff, and T. Schultz, *J. Chem. Phys.* **122**, 224320 (2005).
- [23] E. Samoylova, H. Lippert, S. Ullrich, I.V. Hertel, W. Radloff, and T. Schultz, *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 1782 (2005).
- [24] E. Samoylova, V.R. Smith, H.-H. Ritze, W. Radloff, M. Kabelac, and T. Schultz, *J. Am. Chem. Soc.* **128**, 15652 (2006).
- [24] M. Kabelac, P. Hobza, *Chem. Eur. J.* **7**, 2067 (2001).

### 5.2.2 Liste der aus dem Teilprojekt seit der letzten Antragstellung entstandenen Publikationen

- [SSR10] V.R. Smith, E. Samoylova, H.-H. Ritze, W. Radloff, and T. Schultz, '*Electronic Structure and Dynamics of Microhydrated Adenine Clusters*', *Phys. Chem. Chem. Phys.*, in print (DOI: 10.1039/c003967e).
- [KSS09] K. Kosma, C. Schröter, E. Samoylova, I. V. Hertel, and T. Schultz, '*Excited-State Dynamics of Cytosine Tautomers*', *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 16939 (2009).
- [SRR09] E. Samoylova, W. Radloff, H.-H. Ritze, T. Schultz, '*Observation of Proton Transfer in 2-Aminopyridine Dimer by Electron and Mass Spectroscopy*', *J. Phys. Chem. A* **113**, 8195 (2009).
- [GGS09] J. González-Vázquez, L. González, E. Samoylova, and T. Schultz, '*Thymine Relaxation after UV Irradiation: the Role of Tautomerization and  $\pi\sigma^*$  States*', *Physical Chemistry Chemical Physics* **11**, 3927 (2009).
- [SSH08] E. Samoylova, T. Schultz, I.V. Hertel, and W. Radloff, '*Analysis of ultrafast relaxation in photoexcited DNA base pairs of adenine and thymine*', *ChemPhys* **347**, 376 (2008).
- [NHR08] D. Nachtigallova, P. Hobza, and H. H. Ritze, '*Electronic splitting in the excited states of DNA base homodimers and -trimers: an evaluation of short-range and Coulombic interactions*', *Phys. Chem. Chem. Phys.* **10**, 5689 (2008).
- [GSS07] N. Gador, E. Samoylova, V.R. Smith, A. Stolow, D.M. Rayner, W. Radloff, I.V. Hertel, and T. Schultz, '*Electronic Structure of Adenine and Thymine Base Pairs Studied by Femtosecond Electron-Ion Coincidence Spectroscopy*', *J. Phys. Chem. A* **111**, 11743 (2007).

- [NWH07] D. Nolting, R. Weinkauf, I.V. Hertel and T. Schultz, '*Excited state relaxation of protonated adenine*', ChemPhysChem **8**, 751 (2007).
- [RHN07] H.-H. Ritze, P. Hobza, and D. Nachtigallova, '*Electronic coupling in the excited electronic state of stacked DNA base homodimers*', Phys. Chem. Chem. Phys. **9**, 1672 (2007).

### 5.3 Bewilligte Mittel für die laufende Förderperiode

Das Teilprojekt wurde im Sonderforschungsbereich von 07/1998 bis 06/2010 gefördert.

Haushalts-jahr	Personalmittel	Sachmittel	Investitionsmittel	Gesamt
2007/2	36.8	3.0	0	39.8
2008	73.6	6.0	0	79.6
2009	73.6	6.0	0	79.6
2010/1	39.2	3.0	0	42.2
<b>Summe</b>	223.2	18.0	0	241.2

(Alle Angaben in Tausend EUR)

## 5.3.1 Personal im Teilprojekt

	Name, akad. Grad, Dienststellung	engeres Fach des Mitarbeiters	Institut der Hochschule oder der außeruniv. Einrichtung	im SFB tätig von (Monat / Jahr) bis (Monat / Jahr)	Entgelt- gruppe
<b>Grundaussstattung</b>					
wissenschaftl. Personal (einschl. Hilfskräfte)	1. Schultz, Thomas, Dr. 2. Hertel, I. V., Prof. Dr. 3. Ritze, H.-H., Dr. 4. Mero, Mark	Chemie Physik Physik Physik	MBI MBI MBI MBI	07/2004 – 06/2010 07/1998 – 06/2010 07/1998 – 06/2010 07/2007 – 10/2007	
nichtwissen- schaftl. Personal	5. Gromilovich, Helga 6. Harward, Marco 7. Henschel, Andreas,		MBI MBI MBI	07/1998 – 06/2010 07/1998 – 06/2010 07/2004 – 06/2010	
<b>Ergänzungsaussstattung</b>					
wissenschaftl. Personal (einschl. Hilfskräfte)	8. Samoylova, Elena, Doktorandin 9. Rulyk, Yuliya, Doktorandin 10. Schröter, Christian, Doktorand	Physik Physik Physik	MBI MBI MBI	03/2004 – 05/2008 01/2006 – 06/2010 06/2008 – 06/2010	BAT 2/3 IIa BAT 2/3 IIa BAT 2/3 IIa