

Homepage Franz Fujara

Als Pensionär (seit 1.4.2015) denkt man nicht mehr ausschließlich an die Physik. Die Prioritäten verschieben sich allmählich. So verbringe ich hier, gemeinsam mit meiner Frau Brigitte, einen schönen Urlaub in Namibia.



Ich möchte hiermit den Versuch machen, einen (Rück)blick auf meine beruflichen Stationen zu geben sowie die aus meiner persönlichen Sicht wichtigsten meiner wissenschaftlichen Arbeiten mit Stichworten, einigen verlinkten Vorträgen und ausgewählten Literaturhinweisen zu benennen (Stand Juni 2019).

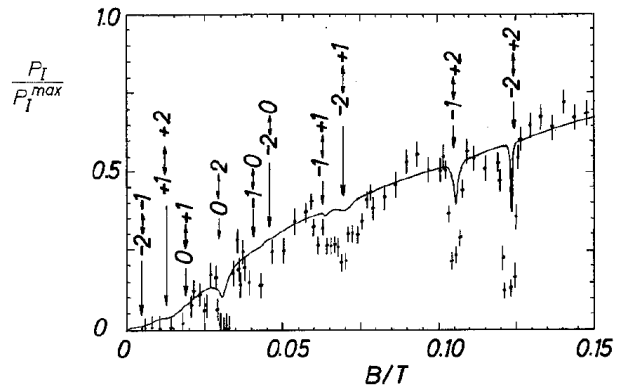
Berufliche Stationen kurz:

1976-1979	ILL Grenoble (Dr.-Arbeit bei H. Ackermann, FB Physik, Uni Heidelberg)
1979-1981	FU Berlin (Wiss. Mitarb. in der Gruppe von D. Stehlik, FB Physik)
1982-1983	ILL Grenoble (Zusammenarbeit hauptsächlich mit O. Schärpf)
1984-1993	Universität Mainz (Wiss. Mitarb. in der Gruppe von H. Sillescu, FB Chemie)
1993-1999	Universität Dortmund, C3-Professur im FB Physik
1999-2015	TU Darmstadt, C4-Professur im FB Physik

ILL Grenoble (1976-1979)

Nach meinem Studium der Physik an der Universität Heidelberg (1970-1975, Diplom 1975) begann meine berufliche Tätigkeit im Rahmen meiner Doktorarbeit am ILL Grenoble (Promotion 1978 an der Uni Heidelberg). Dabei befasste ich mich mit NMR-Experimenten an polarisierten neutronenaktivierten Isotopen (Beispiele: ^8Li , ^{20}F). Diese Isotope, die eine Lebensdauer im Sekunden- bis Minutenbereich aufweisen, wurden in unseren Experimenten durch Absorption polarisierter thermischer Neutronen erzeugt. Wegen der Paritätsverletzung der schwachen Wechselwirkung weist ihre β -Zerfallsstrahlung eine ihrer Spinpolarisation proportionale 180° -Asymmetrie auf, die somit als Meßgröße dieser Kernspinpolarisation diente. So führte ich im Rahmen meiner Arbeit, betreut von Hans Ackermann (später Universität Marburg) derartige „ β -NMR“-Experimente an Ionenkristallen (z. B. MgF_2 , LiF) durch. Mein Augenmerk richtete sich dabei auf Kreuzrelaxationsprozesse zwischen den betrachteten Isotopen und umgebenden Kernspins (z. B. ^{20}F - ^{19}F), über die Aussagen über Punktdefekte, die im Zusammenhang mit der Neutronenaktivierung entstehen, und ihr Ausheilverhalten gemacht werden können. Ein Literaturzitat dazu: **Cross-Relaxation Processes of Polarized β -Active Nuclei in Various Crystalline Solids; F. Fujara, H.-J. Stöckmann, H. Ackermann, W. Buttler, K. Dörr, H. Grupp, P. Heitjans, G. Kiese, A. Körblein, Z. Phys. B **37**, 151 (1980).** Wichtige Kooperationspartner in dieser Zeit waren: Hans Ackermann, Willi Buttler, Kurt Dörr, Dirk Dubbers, Hariolf Grupp, Paul Heitjans, Gerhard Kiese, Alfred Körblein, Hans-Jürgen Stöckmann und Albrecht Winnacker.

In der Magnetfeldabhängigkeit der ^{20}F -Polarisation zeigen sich deutliche Einbrüche dort, wo ^{20}F - und ^{19}F -Energiedifferenzen identisch sind (hier in MgF_2). Dort geschieht ein Polarisationstransfer von ^{20}F auf ^{19}F ; wir sprachen damals von Kreuzrelaxation.



FU Berlin (1979-1981)

In dieser Zeit befasste ich mich mit Arbeiten der optischen Spektroskopie (Triplet-Triplett-Absorption, ODMR) und der ESR (zeitaufgelöste ESR, Spinnutation) nach gepulster optischer Anregung von Molekulkristallen. Ein hier zitiertes [Spin-lattice relaxation in the triplet state of acridine in fluorene; F. Fujara, W. Vollmann, Chem. Phys. **90**, 137 (1984)] Beispiel behandelt lokale Phononen, die im Zusammenhang mit der Lichtabsorption induziert werden und sodann das Relaxationsverhalten des erzeugten elektronischen Triplet-Spinzustandes dominieren. Wichtige Kooperationspartner waren damals Reinhard Furrer, Bernd Praß, Dietmar Stehlik, Hans-Martin Vieth und Wolfgang Vollmann.

ILL Grenoble (1982-1983)

Als Staff-Scientist am ILL Grenoble war ich, in enger Zusammenarbeit mit dem Pionier der Nutzung polarisierter Neutronen am ILL, Otto Schärpf, in mehrere Projekte zur Führung von Neutronenstrahlen und zur Nutzung polarisierter Neutronen involviert. Ich arbeitete zum einen an einem „visionären“ Entwicklungsprojekt zur Herstellung von Neutronen-Mikroleitern (mit Krümmungsradien im cm-Bereich) mittels aufgedampfter Multischichten. Diese Arbeiten blieben allerdings unvollendet und unpubliziert. Zum anderen war ich an dem Ausbau des Flugzeitspektrometers D7 zu einem Instrument, welches zwecks Trennung von kohärenter und inkohärenter Streuung sowie magnetischer und Kernstreuung eine dreidimensionale Polarisationsanalyse erlaubt, beteiligt. Dazu gehörten eine Reihe von Local-Contact-Aktivitäten. Hier nenne ich als Zitat das Ergebnis einer solchen Kooperation; sie befasste sich mit kritischen Fluktuationen in der Nähe des Curiepunktes von Eisen und gehörte zu den ersten Arbeiten, in denen am D7 die Polarisationsanalyse eingesetzt wurde: [A study of the critical factorization of ternary dynamical spin correlations by the scattering of polarized neutrons in Fe near T_c ; A. I. Okorokov, A. G. Gukasov, V. N. Slyusar, B. P. Toperverg, O. Schärpf, F. Fujara, JETP Lett. **37**, 319 (1983)]. Heute, nach vielen Jahren weiterer enormer Entwicklungsarbeiten, stellt das D7 ein phantastisches Instrument dar, dessen Potenzial meines Erachtens immer noch nicht hinreichend erkannt wird.

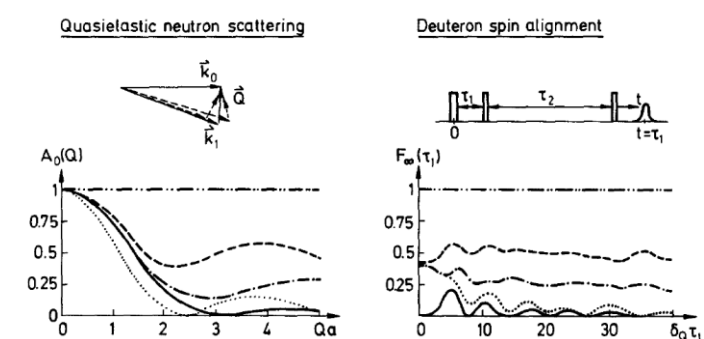
Uni Mainz (1983-1993)

Als Verantwortlicher für das NMR-Labor der AG Sillescu betraf meine Tätigkeit in erster Linie die Aufrechterhaltung und die Weiterentwicklung der Spektrometerinstrumentierung. Der wissenschaftliche Schwerpunkt meines Interesses lag auf dem Gebiet der Dynamik des

Glasübergangs niedermolekularer unterkühlter Flüssigkeiten, die ich sowohl mit Hilfe der NMR als auch der quasielastischen Neutronenstreuung studierte. Zudem arbeitete ich einige Gedanken zur Analogie zwischen diesen beiden Methoden aus und implementierte ein Verfahren der NMR-Diffusometrie in sehr starken statischen Magnetfeldgradienten von bis zu 200 T/m. Für mich wichtige Mainzer Kooperationspartner waren neben dem Gruppenleiter Hans Sillescu folgende Personen: Eckhardt Bartsch, Inyong Chang, Olaf Debus, Dietmar Ehlich, Rita Diehl, Gregor Diezemann, Burkhard Geil, Kurt Hartmann, Gerald Hinze, Michael Kiebel, Albert Olinger, Wolfgang Schnauss, Petrus Sentosa, Stefan Wefing und Joachim Wuttke. Zwei wichtige externe Kooperationspartner waren Gerald Fleischer (Uni Leipzig) und Winfried Petry (damals ILL Grenoble). Die Arbeiten profitierten sehr von dem außergewöhnlich erfolgreichen Mainzer Sonderforschungsbereich 462. Im Folgenden seien einige aus meiner Sicht wichtige Publikationen aus dieser Zeit genannt:

Dynamics of Molecular Reorientations: Analogies between Quasielastic Neutron Scattering and Deuteron NMR Spin Alignment; F. Fujara, S. Wefing, H. W. Spiess, J. Chem. Phys. **84, 4579 (1986)**

Der Vergleich der Endzustände in der n-Streuung und dem ^2H -Spinalignment bzw. stimuliertem Echo zeigt die Analogie beider Messmethoden. (Details bitte in der Publikation nachlesen!)



Dies ist die grundlegende Arbeit zur erwähnten Analogie. Es ist mir ein besonderes Bedürfnis, auf die großartigen Beiträge von Stefan Wefing hinzuweisen.

In späteren Arbeiten wurden diese Gedanken ausgebaut und verfeinert. Zitiert sei hier eine Übersichtsarbeit, die ich gemeinsam mit meinem viel zu früh verstorbenen Leipziger Kollegen und Freund Gerald Fleischer publizierte: **NMR as a generalized incoherent scattering experiment; G. Fleischer, F. Fujara in: "NMR - Basic Principles and Progress" ed. by P. Diehl, E. Fluck, H. Günther, R. Kosfeld, J. Seelig, Vol. 30, Springer, Berlin, p. 159-207 (1994)**

Direct observation of tetrahedral hydrogen jumps in ice Ih; F. Fujara, S. Wefing, W. F. Kuhs, J. Chem. Phys. **88, 6801 (1988):** Hier wurde das Deuteronen-Spin Alignment bzw. Stimuliertes Echo zum Studium der Bjerrum-Defektdynamik eingesetzt. Spätere Darmstädter Arbeiten mit deutlich verbesserter Technik werden dieses Thema wieder aufgreifen (siehe unten).

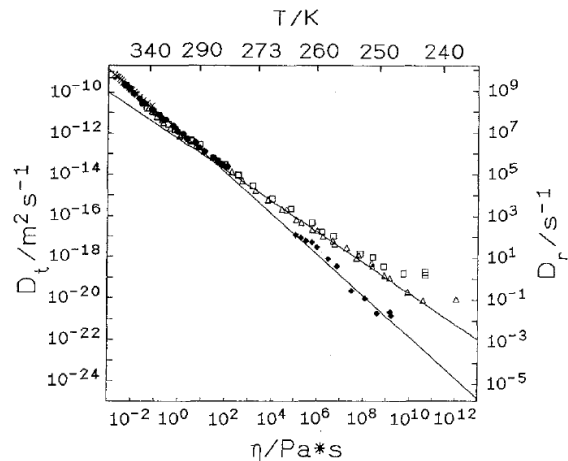
Die folgende Publikation stellt die erstmalige Implementierung einer NMR-Diffusometrie in sehr starken statischen Magnetfeldgradienten dar. Viele spätere Arbeiten benutzen dieses Verfahren: **New perspectives of NMR in ultrahigh static magnetic field gradients; I. Chang, F. Fujara, B. Geil, G. Hinze, H. Sillescu, A. Tölle, J. Non-Cryst. Sol. **172-174**, 674 (1994).** Auch der Vortrag [Diffusion] behandelt dieses Thema, weist auf die Analogie zu Streuexperimenten hin und diskutiert grundlegende Anwendungsbeispiele.

^2H -NMR stimulated echo study of ultraslow reorientational motion in viscous glycerol near its glass transition temperature; R. M. Diehl, F. Fujara, H. Sillescu, Europhys. Lett. **13, 257 (1990):**

Mit dieser Arbeit wurde erstmals der Mechanismus der langsamen molekularen Reorientierung in einer unterkühlten Flüssigkeit mit dem Stimulierten Echo analysiert; spätere darauf aufbauende Arbeiten sollten dieses wichtige Paper etwas stärker zur Kenntnis nehmen.

Eine weitere Arbeit zur Glasübergangsdynamik thematisiert die Translations-Rotations-Entkopplung. Sie gehört zu den am häufigsten zitierten Publikationen auf diesem Gebiet: **Translational and rotational diffusion in supercooled orthoterphenyl close to the glass transition; F. Fujara, B. Geil, H. Sillescu, G. Fleischer, Z. Phys. B - Condensed Matter **88**, 195 (1992)**

Dieses Bild zeigt deutlich die Entkopplung von Translations- und Rotationsdiffusion, gemessen am unterkühlten molekularen Glasbildner Orthoterphenyl.



Nun zur Neutronenstreuung: **Fast local motion around T_g in a molecular glass as observed by incoherent neutron scattering; F. Fujara, W. Petry, Europhys. Lett. **4**, 921 (1987)** ist die erste einer großen Reihe von Neutronenstreuarbeiten zur Dynamik des Glasübergangs. Das zentrale Anliegen waren dabei Tests der Vorhersagen der Modenkopplungstheorie des Glasübergangs. Ich möchte bereits hier ein umfassendes Reviewpaper, verfasst von meinem späteren Dortmunder Doktoranden Albert Tölle, zitieren: **Neutron scattering studies of the model glass former ortho-terphenyl; A. Tölle, Rep. Prog. Phys. **64**, 1473-1532 (2001)**. Leider verließ Albert bald nach seiner Promotion den universitären Wissenschaftsbetrieb, wodurch der Grundlagenforschung ein hochtalentierter Nachwuchswissenschaftler verloren ging. Die Neutronenstreuexperimente zum Glasübergang sind Inhalt eines Vortrages **[Neutron scattering studies of the glass transition]**.

Uni Dortmund (1993-1999)

In meiner Dortmunder Zeit führte ich weitgehend meine bereits in Mainz begonnenen Forschungsarbeiten fort, wobei der Fokus weiter auf den Neutronenstreuarbeiten am Glasübergang (siehe das oben bereits zitierte Reviewpaper von Albert Tölle), zudem auf weiteren Anwendungen des Deuteronen-Stimulierten Echos und der Gradienten-NMR lag. Später kamen Arbeiten zu amorphem Eis (Michael Koza) und die Entwicklung eines Field-Cycling Magneten (Alexei Privalov, Oliver Lips) hinzu. Wichtige Postdoc-Mitarbeiter waren Burkhard Geil und Alexei Privalov. Folgende Doktoranden wurden von mir betreut: Thorsten Feiweier, Olaf Isfort, Michael Koza, Albert Tölle und Andreas Waldöfner. Nicht vergessen möchte ich auch die schöne und freundschaftliche Zusammenarbeit mit Jürgen Altmann (Friedensforschung), Horst Rombeck (Gruppentechniker) und Angelika Sommer (Sekretärin). Die Forschungen profitierten sehr von meinen fruchtbaren Kooperationen mit den Dortmunder

Kollegen Bruno Boddenberg und Roland Winter (beide FB Chemie) und Prof. Petermann (FB Chemietechnik). Als wichtige externe Kooperationspartner seinen Gerald Fleischer (Uni Leipzig) und Helmut Schober (ILL Grenoble) genannt.

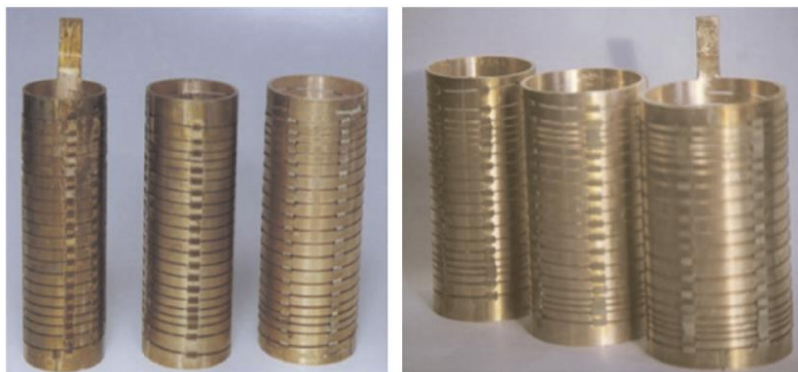
Aus der Vielzahl der Publikationen nenne ich hier einige weitere Anwendungen des Deuteronen-Stimulierten Echos, u. a. zur Leerstellendiffusion im Benzolkristall [2D-Deuteron Exchange NMR and Stimulated Echos: Molecular Dynamics of the Vacancy Diffusion in Polycrystalline Benzene; O. Isfort, B. Geil, F. Fujara, J. Magn. Res. **130**, 45 (1998)], zur Benzoldynamik in Zeolithen [Molecular dynamics of benzene in zeolite NaY studied by 2D deuteron NMR; O. Isfort, B. Boddenberg, F. Fujara, R. Grosse, Chem. Phys. Lett. **288**, 71 (1998)] und zur Wasserdynamik in Hydrat-Clathraten [Reorientational and Translational Dynamics of Benzene in Zeolite NaY as Studied by 1- and 2-Dimensional Exchange Spectroscopy and Static-Field-Gradient NMR, B. Geil, O. Isfort, B. Boddenberg, D.E. Favre, B. F. Chmelka, F. Fujara, J. Chem. Phys. **116**, 2184 (2002)].

Hervorheben möchte ich auch zwei außerordentlich schöne methodische Arbeiten, die die phantastische räumliche Auflösung der Gradienten-NMR demonstrieren: Demonstrating the spatial resolution of field gradient NMR; T. Feiweier, B. Geil, O. Isfort, F. Fujara, J. Magn. Res. **131**, 203 (1998) und Spatial Resolution of Field-Gradient NMR: Benefits and Drawbacks from Oscillations; T. Feiweier, B. Geil, O. Isfort, F. Fujara, Appl. Magn. Res. **17**, 375 (1999). Dazu auch der Vortrag [Spatial Resolution of SFG].

Thorsten Feiweier gelang auch eine wunderschöne und facettenreiche Arbeit in einem Wasser/Lipid-System: An NMR Study of Translational and Rotational Dynamics in MO/Water Mesophases: Obstructional and Hydrational Effects, Th. Feiweier, B. Geil, E.-M. Pospiech, F. Fujara, R. Winter, Phys. Rev. E **62**, 8182 (2000)

In die Dortmunder Zeit fällt auch der Beginn eines großen Projekts, das später auch im Zentrum meiner Darmstädter Forschung stehen sollte, nämlich die Entwicklung eines leistungsfähigen NMR-Field-Cycling Relaxometers: Magnet Design with high B_0 homogeneity for fast-field-cycling NMR Applications; O. Lips, A. F. Privalov, S. V. Dvinskikh, F. Fujara, J. Magn. Res. **149**, 22 (2001)

Sechs „russische Puppen“ bilden, ineinandergeschachtelt, den Field-Cycling Magneten.



Zum Schluß meiner Ausführungen zur Dortmunder Zeit komme ich nicht umhin, im Zusammenhang mit der Nennung eines Beitrages in den Physikalischen Blättern [Zur Nutzung von hochangereichertem Uran im Forschungsreaktor FRM-II; H. Ackermann, W. Buckel, F. Fujara, W. Liebert, Phys. Bl. **55**, 16 (1999)] auf einen mir sehr wichtigen Schritt hinzuweisen: Ich protestierte gemeinsam mit vielen Wissenschaftlern gegen den Bau des mit hochangereichertem und damit atomwaffenfähigen Uran (HEU) betriebenen Forschungsreaktor FRM-II. Denn nach meiner Überzeugung sollte ein verantwortungsbewußter Wissenschaftler

seine Augen nicht davor verschließen, dass die Nutzung von HEU für Zwecke der zivilen Grundlagenforschung proliferationspolitisch höchst bedenklich ist. Mein Engagement in dieser Sache, welches in der Scientific Community zu erheblichen Kontroversen führte, bedeutete für mich mittelfristig ein Ende meiner wissenschaftlichen Tätigkeit als Nutzer von Reaktorneutronen. Insbesondere kam und kommt für mich Forschung am FRM-II nicht mehr in Frage. Hingegen begann ich in Darmstadt, bei Untersuchungen der Umstellbarkeit dieses Reaktors von hochangereichertem (HEU) auf niedrigangereichertes Uran (LEU) mitzuwirken. Dazu später mehr.

TU Darmstadt (1999-2015)

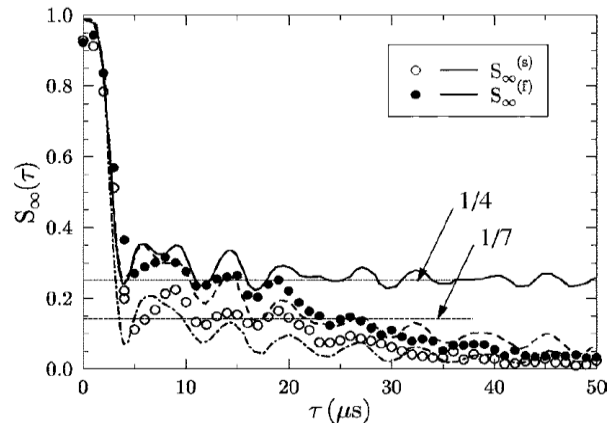
Hier möchte ich vor allem vier Tätigkeitsschwerpunkte hervorheben: Die Eisforschung, das NMR Field-Cycling, das Studium von schwerioneninduzierten Defekten in Ionenkristallen und mein Engagement für IANUS. Im Folgenden werde ich kurz die wichtigsten Arbeiten zu diesen Themenfeldern erwähnen. Vorab aber ein Wort zu den mich in Darmstadt begleitenden Personen, beginnend mit meinen promovierten Mitarbeitern: Es handelt sich um Burkhard Geil (jetzt Uni Göttingen) als tiefgründiger Eisexperte, Danuta Kruk (jetzt Olsztyn) als Relaxationstheoretikerin, Sorin Lusceac (Deuteronen-NMR), Alexei Privalov, dem „Vater“ des Field-Cycling Relaxometers, Mohamed Saad (diffuse Streuung an Ionenleitern) und Vitali Sinitsyn (Leitfähigkeitsmessungen). Burkhard Geil habilitierte sich während seiner Zeit in meiner Gruppe. Meine Darmstädter Doktoranden: Matthias Englert, Achim Gädke, Alexander Glaser, Patryk Gumann, Michael Koza, Benjamin Kresse, Moritz Kütt, Oliver Lips, Florian Löw, Friederike Frieß (formal bei B. Drossel), Markus Nolte, Hannes Pahlke, Christoph Pistner, Marko Scheuermann und Holger Stork. Zu nennen sind zudem zwei Doktoranden, deren Dissertationen bis heute nicht eingereicht wurden: Michael Ditter und Stefan Reutter. Eine äußerst intensive und erfolgreiche Zusammenarbeit existierte mit Ernst Rößler (Uni Bayreuth) und seinen Doktoranden Axel Hermann und Marius Hofmann. Weitere externe Kooperationspartner waren Reinhard Neumann und Christina Trautmann (GSI) sowie Aleksander Gutsze und Wlodimierz Masierak (Bydgoszcz). Aus dem Bereich der Werkstätten und Gruppentechniker gilt mein großer Dank vor allem Harald Plößer (Feinmechanik), ebenso aber auch Frank Fischer (Probenpräparation), Heinz Haschka (Elektronik), Heinz Rutscher (Feinmechanik) und Klaus Weber (Elektronik). Den Sekretärinnen, Doris Mikus, Jana Deimel-Karpisek, Natalia Kalougina, Dagmar Wolf-Hollenbach und Barbara Böttcher gilt mein Dank für viele Jahre sehr guter Zusammenarbeit „Tür an Tür“. Ein wichtiger Aspekt meiner Tätigkeit betraf die Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (IANUS), deren Sprecher ich (zusammen mit Wolfgang Liebert) viele Jahre lang war. Personen, mit denen ich über die Jahre enger zusammenarbeitete: Wolfgang Bender, Matthias Englert, Friederike Frieß, Alexander Glaser, Regina Hagen, Dirk Ipsen, Egbert Kankeleit, Werner Krabs, Moritz Kütt, Wolfgang Liebert, Oliver Lieven, Kathrin Nixdorff, Alfred Nordmann, Christoph Pistner, Jan Schmidt, Brigitte Schulda, Reiner Simon, Martin Ziegler.

Zu den inhaltlichen Arbeitsschwerpunkten:

Wasser und Eis:

Als wesentliche Verbesserung und Erweiterung meiner oben bereits zitierten Publikation aus dem Jahre 1988 zu Bjerrum-Defekt-Dynamik im kristallinen Eis entstand die Publikation **Mechanism of Proton Transport in Hexagonal Ice, B. Geil, T. M. Kirschgen, F. Fujara, Phys. Rev. B 72, 014304 (2005).**

Endzustände der Wassermoleküle im hexagonalen Eis. Geschlossene Symbole: Tetraedersprünge aufgrund der Bjerrum-Defektdynamik; offene Symbole: Translationsdiffusion



Dazu auch ein Vortrag: [hexagonales Eis]. In weiteren Experimenten wurde versucht, in anderen kristallinen Hochdruckeisphasen analoge Informationen über die Wasserdynamik zu finden. Außer einer Publikation zur Phase II [Deuteron spectra, spin-lattice relaxation and stimulated echoes in ice II, M. Scheuermann, G. Geil, F. Löw, F. Fujara, J. Chem. Phys., J. Chem. Phys. **130**, 024506 (2009)] blieben diese Versuche jedoch wegen der sehr großen Relaxationszeiten eher erfolglos.

In weiteren Arbeiten wurde versucht, mittels temperaturabhängiger Deuteronen Spin-Gitter-Relaxationszeiten und des Stimulierten Echos die Reorientierungsdynamik im amorphen Eis zu untersuchen, um Indizien für einen Glasübergang zu erhalten. Dazu folgende Zitate: Deuteron spin lattice relaxation in amorphous ices, M. Scheuermann, B. Geil, K. Winkel, F. Fujara, J. Chem. Phys. **124**, 224503 (2006); Limits of metastability in amorphous ices: ^2H -NMR relaxation, F. Löw, K. Amann-Winkel, B. Geil, T. Lörting, C. Wittich, F. Fujara, PCCP **15**, 576 (2013); Ultra-slow dynamics in low density amorphous ice revealed by deuteron NMR: indication of a glass transition, F. Löw, K. Amann-Winkel, T. Lörting, F. Fujara, B. Geil, PCCP **15**, 9308 (2013).

In einer Neutronenstreuarbeit wurde über die Messung einer Anomalie des Debye-Waller-Faktors nach Indizien für einen beginnenden Glasübergang amorpher Eisphasen gesucht: Limits of metastability in amorphous ices: the neutron scattering Debye-Waller factor, K. Amann-Winkel, F. Löw, P. Handle, W. Knoll, J. Peters, B. Geil, F. Fujara, T. Lörting, PCCP **14**, 16386 (2012)

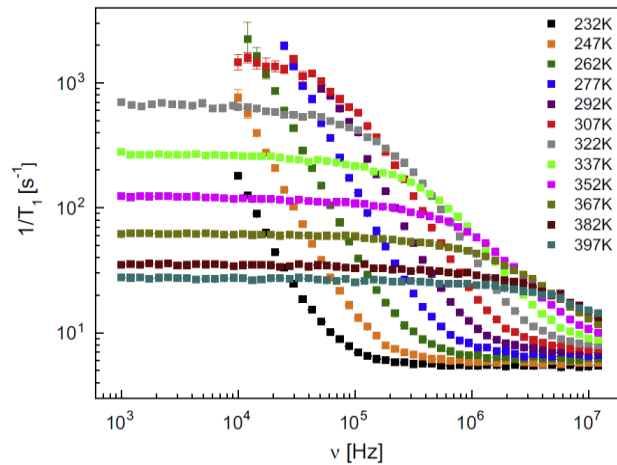
In einem Reviewpaper wurde der aktuelle Stand der Forschung des unterkühlten Wassers dargelegt: Water's controversial glass transitions: K. Amman-Winkel, R. Böhmer, F. Fujara, C. Gainaru, B. Geil, Th. Lörting, Rev. Mod. Phys. **88**, 011002 (2016)

NMR Field-Cycling

Ein auf einer noch in Dortmund entwickelten und gebauten schaltbaren Hochstromspule (Publikation Lips et al., 2001, wurde bereits oben genannt) basierendes FC-Relaxometer wurde über viele Jahre kontinuierlich weiterentwickelt und stellt heute ein äußerst leistungsfähiges Instrument dar. In einem Reviewpaper [Solid State Field-Cycling NMR relaxometry: Instrumental improvements and new applications, F. Fujara, D. Kruk, A. F. Privalov, Prog. Nucl. Mag. Res. Spectr. **82**, 39-69 (2014)] werden die diversen Entwicklungsschritte, alternative FC-Konzepte und die Vielzahl der Anwendungen (NMR/NQR, Dynamik in Superionenleitern, Polarisationstransfer in Molekulkristallen, Selbstdiffusion im Li-Metall, Rotationsresonanz, ...) umfassend dargestellt, weshalb hier auf die Nennung einzelner Arbeiten

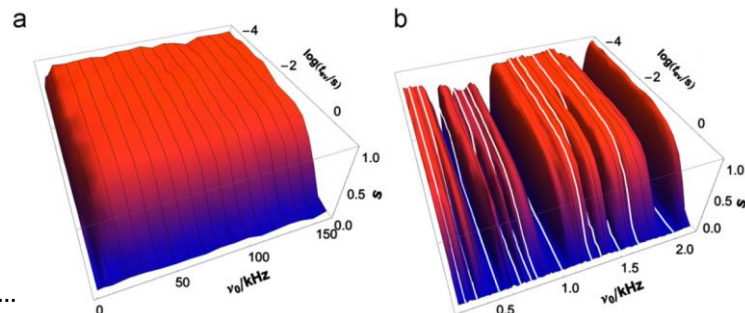
verzichtet werden kann. Teile dieses Review-Papers waren Gegenstand eines Vortrages [[The Beauty of Field-Cycling Relaxometry](#)]. Außerdem sei auf einen Vortrag zur [[Ionendynamik in LaF₃](#)] hingewiesen.

⁷Li- Relaxationsdispersion im Li-Metall. Neben einer diffusionsbedingten Relaxation ist ein frequenzunabhängiger Beitrag (Korringa) deutlich erkennbar.



Die folgende Abbildung zeigt eine schöne Anwendung der Field-Cycling NMR bei schneller Probenrotation (hier in polykristallinem Adamantan) [[Rotational Resonance in milli-tesla fields detected by Field-Cycling NMR, S. Reutter, A. Privalov, G. Buntkowsky, F. Fujara, Sol. State NMR 41, 74 \(2012\)](#)]: Wenn die Rotationsfrequenz ein rationales Vielfaches der Larmorfrequenz ist, bricht aufgrund der periodischen Modulation der Dipol-Dipol-Wechselwirkung die Kernspinpolarisation zusammen. Die Verteilung der Tiefen dieser Einbrüche beinhaltet, so die Vermutung, strukturelle Informationen.

Rotationsresonanz: (a) Ohne Probenrotation; (b) mit Probenrotation. Hinweis: In (b) wurde vom Verlag die Beschriftung der Frequenzachse, die eigentlich „ ν_0/ν_R “ lauten sollte, ohne unser Wissen geändert und dadurch verfälscht. Man hatte es gut gemeint ...

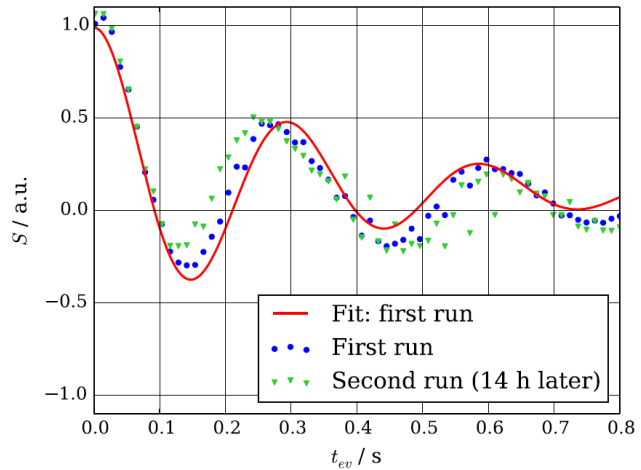


Lediglich die jüngste der methodischen Arbeiten, die noch über die Inhalte des Reviewpapers hinausführt, sei hier erwähnt: [[¹H NMR at Larmor frequencies down to 3 Hz by means of Field-Cycling techniques, B. Kresse, M. Becher, A. F. Privalov, M. Hofmann, E. A. Rössler, M. Vogel, F. Fujara, J. Magn. Res. 277, 79 \(2017\)](#)].

Und eine Anwendung sei zitiert, in der mittels einer geschickten Kombination von FC- und FG-NMR die Zeitabhängigkeit des segmentalen mittleren Verschiebungsquadrates in langkettigen Polymerschmelzen gemessen wurde: [[All Polymer Diffusion Regimes Covered by Combining Field-Cycling and Field-Gradient ¹H NMR, B. Kresse, M. Hofmann, A. F. Privalov, N. Fatkullin, F. Fujara, E. A. Rössler, Macromolecules 48, 4491 \(2015\)](#)].

Der Inhalt der beiden letztgenannten Publikationen ist Thema eines Vortrages [[¹H NMR at Larmor frequencies down to 3 Hz by means of Field-Cycling techniques](#)].

Präzession der Protonenmagnetisierung in Tetradekan bei Zimmertemperatur um ein gekipptes Evolutionsfeld mit einer Larmorfrequenz von etwa 3 Hz



Schwerioneninduzierte Defekte in Ionenkristallen

Durch Bestrahlung mit schweren Ionen (GSI) wurden Ionenkristalle (Fluoride) innerhalb der Eindringtiefe der Projektile geschädigt. Durch orts aufgelöste NMR-Relaxometrie und ESR-Messungen (Zusammenarbeit mit Peter Dinse, FB Chemie) wurden diese Defekte charakterisiert. Drei der entstandenen Publikationen seien hier zitiert: [Spatially resolved characterization of Xe ion irradiated LiF crystals using static field gradient NMR](#), H. Stork, K.-P. Dinse, F. Fujara, A. Hamburger, P. Jakes, R. Neumann, B. Schuster, K. Schwartz, C. Trautmann, *J. Phys.: Condens. Matter* 20, 465215 (2008); [Spatially resolved nuclear spin-relaxation, electron spin-relaxation and light absorption in swift heavy ion irradiated LiF crystals](#), H. Stork, K.-P. Dinse, M. Ditter, F. Fujara, W. Masierak, R. Neumann, B. Schuster, K. Schwartz, C. Trautmann, *J. Phys.: Condens. Matter* 22, 185402 (2010); [Combining one-dimensional stray-field micro-imaging with mechanical field-cycling NMR: A new spectrometer design](#), M. Ditter, H. Stork, B. Schuster, F. Fujara, *J. Magn. Res.* **209**, 47 (2011).

Weitere wichtige Resultate dieses Projekts sind in der abschließenden Dissertation von Michael Ditter enthalten und wurden größtenteils publiziert: [Spatially resolved magnetic resonance studies of swift heavy ion induced defects and radiolysis products in LiF crystals](#), M. Ditter, M. Becher, S. Orth, K. Schwartz, C. Trautmann, F. Fujara, *Nucl. Inst. and Methods in Physics Research B* **441**, 70 (2019).

IANUS

Die Interdisziplinäre Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (IANUS) wurde 1988 als zentrale Forschungseinrichtung der TU Darmstadt gegründet. Sie entstand aus einem damals von vielen Wissenschaftlern auf allen Ebenen – Studierenden, Mitarbeitern und Professoren – geäußerten Bedürfnis, brennenden Fragen nach Krieg und Frieden, der Ambivalenz wissenschaftlichen Handelns, der Verantwortung des Wissenschaftlers und der Gestaltbarkeit von Technik und Wissenschaft nachzugehen.



Im Zentrum dieses durch IANUS selbstdefinierten Aufgabenbereichs stand zwar die naturwissenschaftlich orientierte Friedensforschung, aber das Tätigkeitsspektrum ging deutlich darüber hinaus (Endlichkeit der Energieressourcen, Biodiversität, Technikethik, Technikphilosophie, ...). Auch die Arbeitsweise der IANUS-Gruppe wies besondere Merkmale auf, basierend auf einer dezidiert basisdemokratischen Tradition. Das inhaltlich wichtigste Charakteristikum war dabei eine problemorientierte Interdisziplinarität. In einem Vortrag [Delft 2010] führte ich diesen IANUS-Interdisziplinaritätsansatz in Forschung und Lehre aus. Mein eigenes Hauptinteresse, motiviert durch den oben bereits erwähnten Streit um den Garchingener Forschungsreaktor FRM-II, galt der zivil-militärischen Ambivalenz nuklearer Technologien. Dieses Gebiet, vor meiner Darmstädter Zeit von Egbert Kankeleit betreut, entwickelte eine ihm eigene Kontinuität mit außerordentlichen, weltweit anerkannten wissenschaftlichen Erfolgen. Betreut wurde dieser Bereich seit etwa 2000 bis zu seiner im Jahre 2013 erfolgten Berufung an die BOKU Wien durch Wolfgang Liebert. Ich sah meine Aufgabe vorrangig darin, im FB Physik die akademischen Randbedingungen für die Möglichkeit physikalischer Abschlüsse (Diplom, Bachelor, Master, Promotionen) sicher zu stellen. Bei den Publikationen beteiligte ich mich hingegen (bei einer Ausnahme) nicht. Zur Illustration dieses Teils der IANUS-Arbeit füge ich hier die Folien eines Kolloquiumvortrages ein, den ich im Januar 2015 am FB Physik der Universität Dortmund anlässlich der Pensionierung von Jürgen Altmann hielt: [Ianus 2015]. Die IANUS-Arbeit fand nach meiner Pensionierung leider keine adäquate Unterstützung des Präsidiums der TUD mehr, sodass hier inzwischen ein Fadenriss geschah. In Zeiten einer immer stärker um sich greifenden Ökonomisierung der Universität schwindet der Raum für kritische Forschung zusehends.

Lehre:

Neben meiner Tätigkeit bei den kanonischen Lehrveranstaltungen (drei Durchgänge des Vorlesungszyklus Experimentalphysik I-III in den Jahren 2002-2004, 2005-2007 und 2011-2013) hielt ich wiederholt Vorlesungen zu den Themen Festkörperphysik, NMR, Struktur der Materie (Lehramtskandidaten); dazu kamen in Zusammenarbeit mit IANUS-Kollegen jährliche IANUS-Seminare zum Rahmenthema „Verantwortbarer Umgang mit dem Atom“ (detaillierte Liste in meinem Vortrag [Ianus 2015]). In meinen letzten sechs Wintersemestern veranstaltete ich zudem interdisziplinäre Seminare zum Thema „In Einsamkeit und Freiheit? – NaturwissenschaftlerInnenbiographien“ (in z. T. wechselnden Kooperationen mit Egbert Kankeleit, Alfred Nordmann und Dirk Reitz) und „Dimensionen der Zeit“ (in Kooperation mit Hanns-Jürgen Wiegand).

Unerledigtes:

Nie lassen sich alle diejenigen Dinge, die man sich vornimmt, wirklich erledigen. Immer bleiben Fragen offen, Ideen im Raum stehen. So ging es auch mir, und das nicht erst in Darmstadt. Schon in meiner Dortmunder Zeit gab es eine wichtige Arbeit, die gänzlich unpubliziert blieb, nämlich die Dissertation von Andreas Waldöfner. Das liegt aber so lange zurück, dass sich dieses Manko wohl nicht mehr reparieren lässt. Von weniger alten nicht abgeschlossenen „Baustellen“ will ich hier zwei herausgreifen, die ich für besonders bedeutsam ansehe und die aber durchaus noch weiter bearbeitet werden können. Da ist zum einen die Fortführung der seitens Stefan Reutter und Dennis Ratzke grad erst begonnenen Arbeiten zur Rotationsresonanz. Hier sehe ich ein riesiges Potenzial, sowohl hinsichtlich der grundsätzlichen Beschreibung der Phänomene (Ansätze nach Liouville-von Neumann und/oder Floquet) als auch der Anwendungen (Stukturbestimmung). Ein anderer mir wichtiger Punkt ist die Suche

nach Quantenschwebungen im Zusammenhang mit Polarisationstransferprozessen. Hier gibt es vielversprechende erste Messungen von Manuel Becher, die auf eine Fortsetzung warten. Das wird möglicherweise auch einen Rentner noch eine Weile interessieren ...

Im Übrigen bin ich froh und dankbar, dass die NMR, wenn auch mit teilweise anderen Schwerpunkten, in der Arbeitsgruppe von Michael Vogel ihre Fortsetzung findet. Insbesondere wird ein Großteil der Instrumentierung (Field-Cycling, Gradienten), in die über die Jahre viel Arbeit investiert wurde, weiter genutzt. Beim Field-Cycling steht dank des Engagements von Ernst Rössler, der dafür DFG-Mittel eingeworben hat, auch eine aufwändige, aber vielversprechende Weiterentwicklung an (Start Ende 2019), die es erlauben soll, auch Deuteronen-Festkörper-Field-Cycling durchzuführen. So wünsche ich allen zukünftigen NMRlern bei ihren Arbeiten viel Freude und Erfolg.

Ich selbst bin jederzeit gerne bereit, bei allen Fragen mit meinen verbliebenen, bescheidenen Kenntnissen zur Verfügung zu stehen. Dafür bin ich immer erreichbar. Email: fujara@physik.tu-darmstadt.de, Tel.: 06151-292500.