

Was ist attraktiv an der Theorie?



In jedem Fall der schöne Ausblick ...

Institutsmitglieder



David
Andriot



Herbert
Balasin



Emanuela
Bianchi



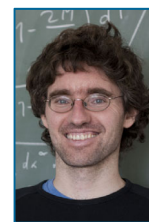
Kirill
Boguslavski



Joachim
Burgdörfer



Thomas
Fabian



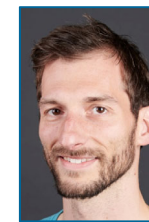
Daniel
Grumiller



Andreas
Grüneis



Michael
Horodyski



Felix
Hummel



Iva Hunger
Brezinova



Andreas
Ipp



Gerhard
Kahl



Benjamin
Koch



Matthias
Kühmayer



Christoph
Lemell



Florian
Libisch



Kevin
Pichler



Anton
Rebhan



Tobias
Schäfer

Administration



Heike
Höller



Sylvia
Riedler



Andrea Smith-
Stachowski



Ingrid
Unger



Stefan
Rotter



Alexander
Schumer



Karl
Svozil



Shuhei
Yoshida



Matthias
Zens

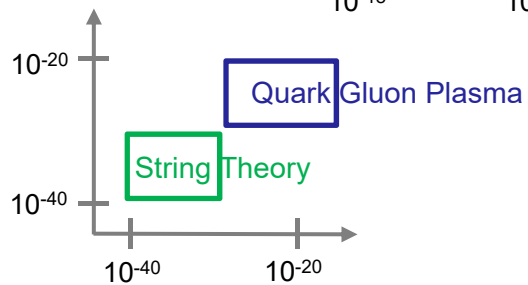
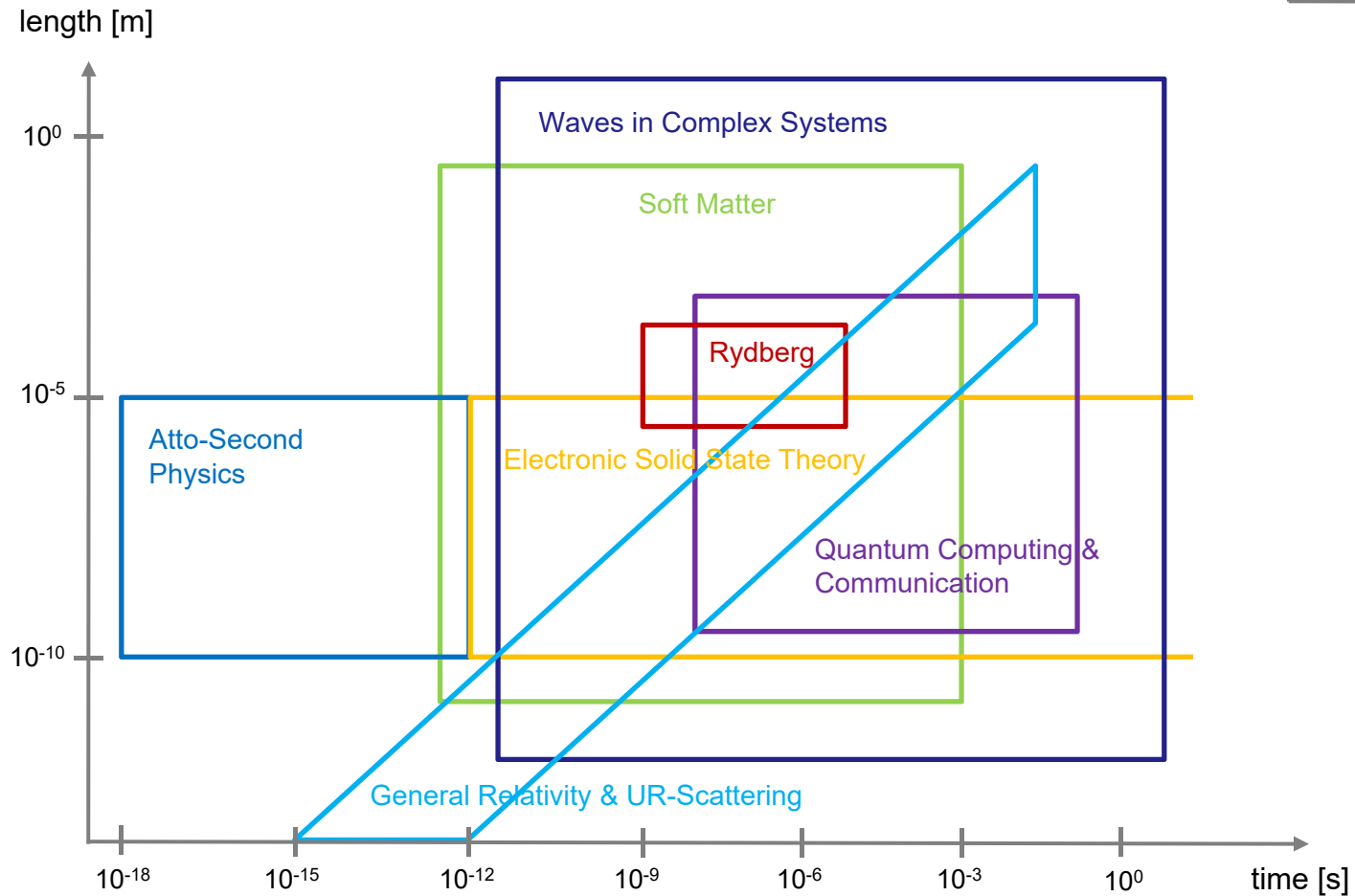
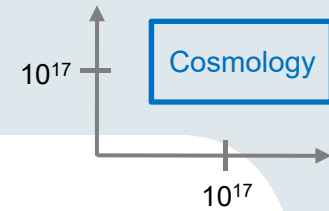
16 PostDocs (extern finanziert)

15 PhD Studenten (extern finanziert)

Ziele und Methoden der Theoretischen Physik

- Beschreibung physikalischer Prozesse mit Hilfe mathematischer Methoden
- Verknüpfung von Theorie und Experiment
- Analytische Methoden: „Papier und Bleistift“
- Numerische Methoden: Computersimulation („Computorexperimente“)

- **Attosekunden Physik & Licht-Materie Wechselwirkungen**
(Brezinova, Burgdörfer, Lemell, Yoshida)
- **Nicht-lineare Dynamik & komplexe Wellenstreuung**
(Brezinova, Burgdörfer, Kühmayer, Pichler, Rotter, Svozil, Yoshida, Zens)
- **Theorie der kondensierten Materie (weiche und harte Materie)**
(Bianchi, Burgdörfer, Grüneis, Hummel, Kahl, Lemell, Libisch, Rotter, Schäfer)
- **Fundamentale Wechselwirkungen**
(Andriot, Balasin, Boguslavski, Grumiller, Ipp, Koch, Rebhan)



Fakultät für Physik

E 134 - Angewandte Physik

J. Burgdörfer - F. Aumayr

A. Grüneis - U. Diebold

G. Kahl – M. Valtiner

G. Kahl - G. Schütz

C. Lemell - F. Aumayr

F. Libisch - F. Aumayr

E. Bianchi – E. Sevcsik

F. Libisch – W. Werner

F. Libisch – R. Wilhelm

E 138 - Festkörperphysik

S. Rotter - A. Pimenov

E 141 - Atominstitut

J. Burgdörfer - H. Abele

D. Grumiller - J. Schmiedmayer

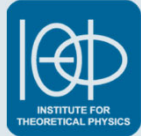
S. Rotter - H. Abele

S. Rotter - P. Rabl

S. Rotter - J. Schmiedmayer

A. Rebhan – H. Abel

A. Rebhan – J. Schieck



Kooperationen innerhalb der TUW (2)

TU Wien, Fakultät für...

Technische Chemie

J. Burgdörfer - P. Blaha (E165)

Mathematik und Geoinformation

I. Březinová - W. Auzinger (E101)

F. Libisch - W. Auzinger (E101)

S. Rotter - J.M. Melenk (E101)

S. Rotter - J. Schöberl (E101)

Elektrotechnik und IT

J. Burgdörfer - A. Baltuška (E387)

C. Lemell - A. Baltuška (E387)

F. Libisch - T. Müller (E387)

S. Rotter - K. Unterrainer (E387)

S. Rotter - G. Strasser (E362)

Bauingenieurwesen

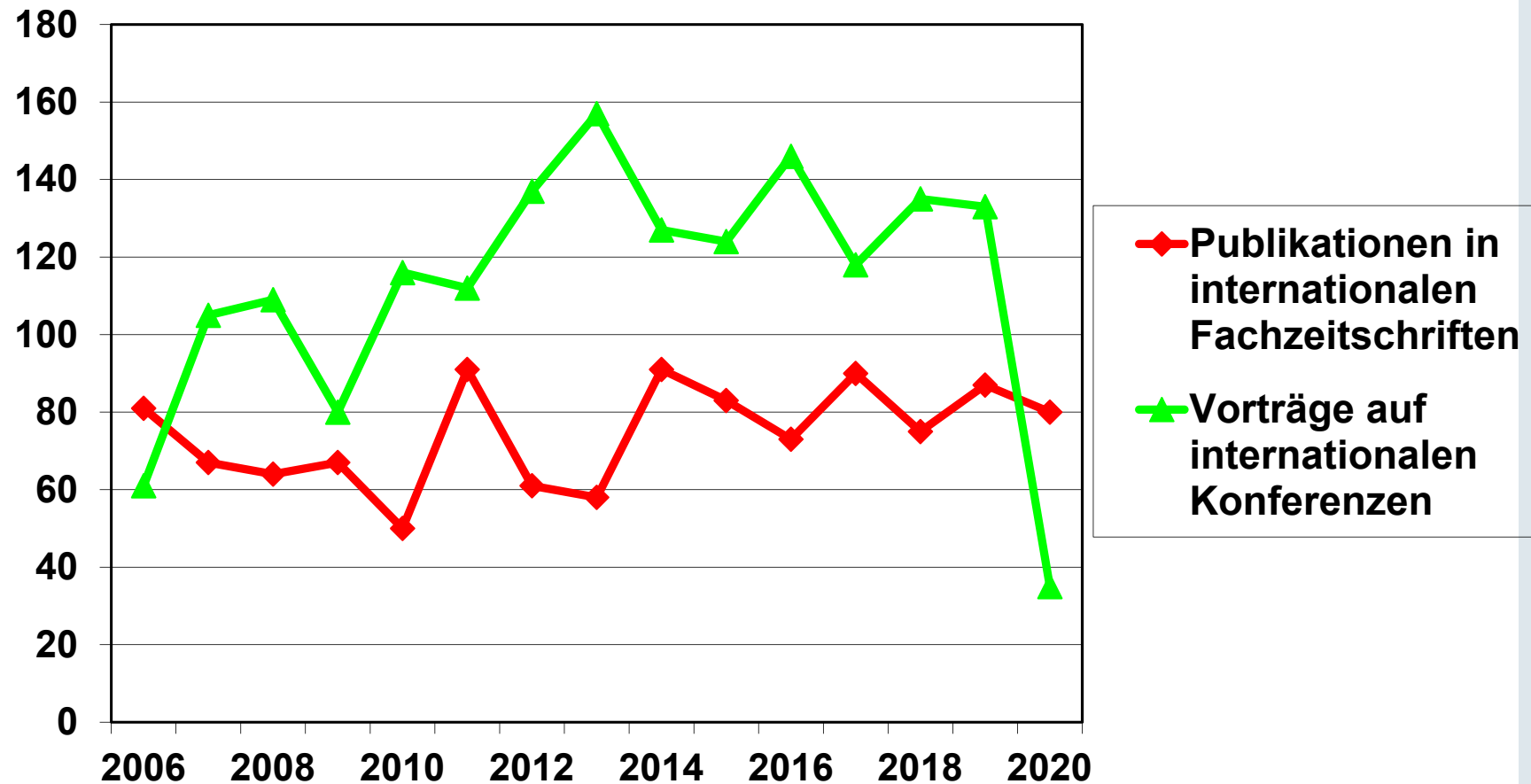
G. Kahl - C. Hellmich (E202)

F. Libisch - C. Hellmich (E202)

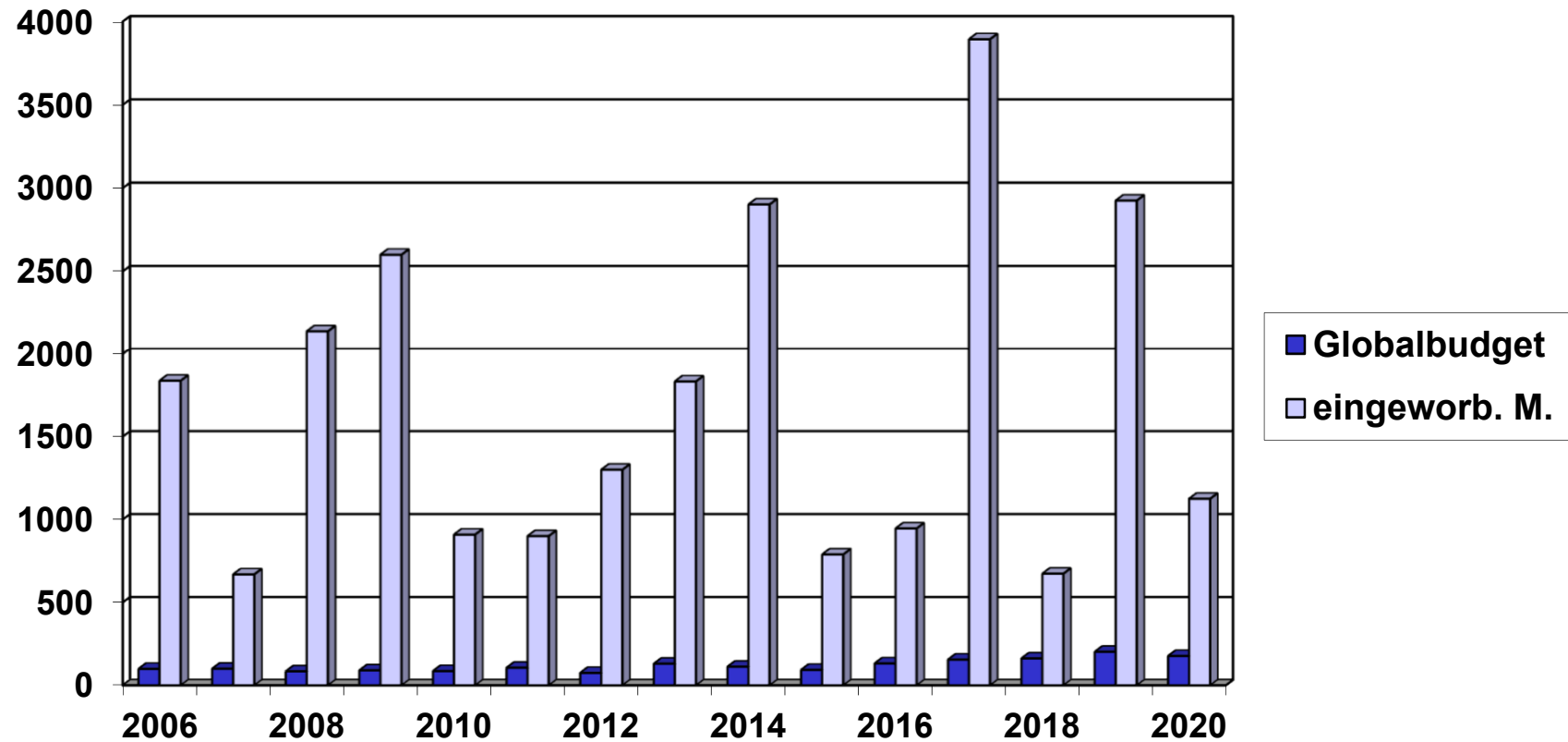
Informatik

K. Svozil - A. Leitsch (E192)

Publikationstätigkeit des Instituts für Theoretische Physik



Institut für Theoretische Physik Budget 2006-2020 in k€



- **ERC** (1)

- **CC4Sol** (A. Grüneis - C)



European Research Council
Established by the European Commission

- **EU** (4)

- **HoloBH** (D. Grumiller/L. Donnay)
- **NHQ Wave** (S. Rotter)
- **NOMAD** (A. Grüneis)
- **ONTOP** (S. Rotter)



Horizon 2020
European Union funding
for Research & Innovation

- **FWF** (19)

- 1 START-Projekt (Bianchi)
- 8 Einzelprojekte
- 4 Internationale Projekte
- 5 Meitner Projekte
- 1 Firnberg Projekt



- **Doktorats Kolleg (2)**
 - DK-PI (A. Rebhan - C)
 - ENROL (E. Bianchi, G. Kahl)

$$\int dk \Pi$$

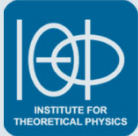
- **ÖAW (2)**
 - DOC-Stipendium
(C. Roupec, C. Schattauer)



- **Teilnahme an Forschungszentren (2)**
 - DaCAM (G. Kahl)
 - Center for Computational Materials Science (CMS)



- **Bilaterale and Multilaterale Projekte**
 - ÖAD, ESI, COST, CONICYT



Wir freuen uns über Rückfragen!

Unser Institut finden Sie im gelben Bereich des Freihauses
(10. und 3. Obergeschoß).





Iva Březinová



Joachim Burgdörfer



Christoph Lemell



Shuhei Yoshida

Multi-Elektronen-Atome in starken Laserfeldern

Dynamik ultrakalter Gase (Bose-Einstein Kondensate)

Wechselwirkung starker Felder mit Materie

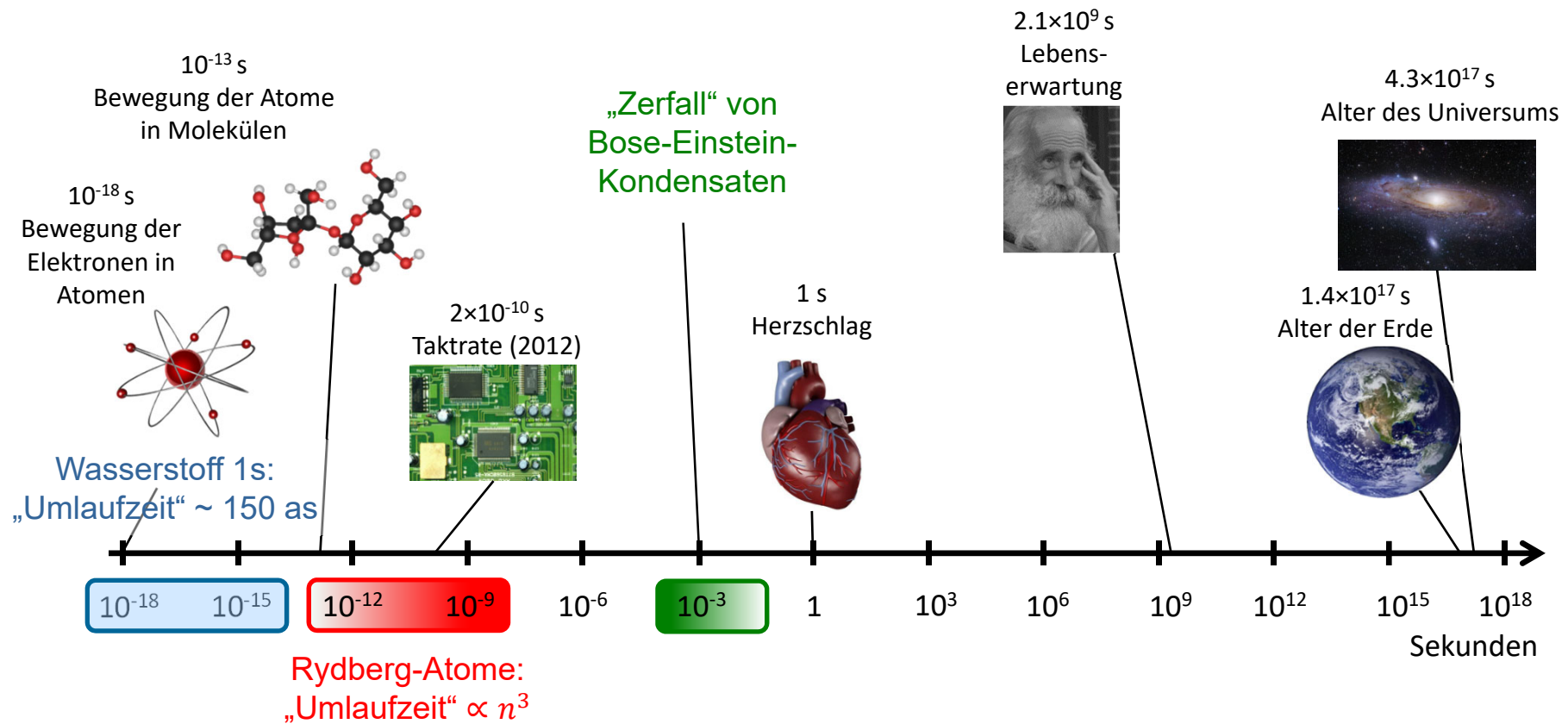
Laser-Festkörper Wechselwirkung

Semiklassische Beschreibung

Rydberg-Physik

Kohärente Kontrolle (mikroskopische Steuerung von Prozessen)

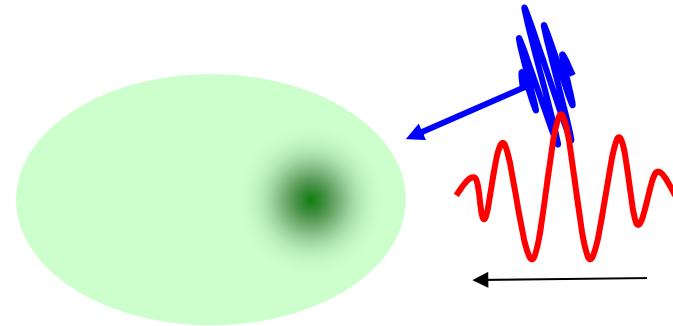
Charakteristische atomare und molekulare Zeitskalen



Eine Attosekunde verhält sich zu einer Sekunde wie eine Sekunde zum Alter des Universums

Atomare Dynamik = Atomstruktur + zeitabhängige Störung

Ziel: zeitlich aufgelöste
Bestimmung des Zustandes
des Elektronen-Wellenpakets



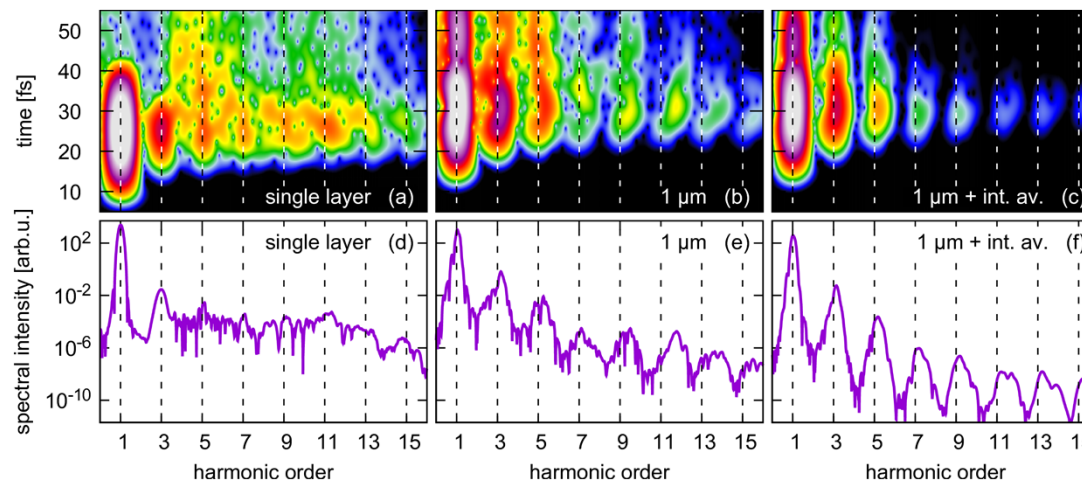
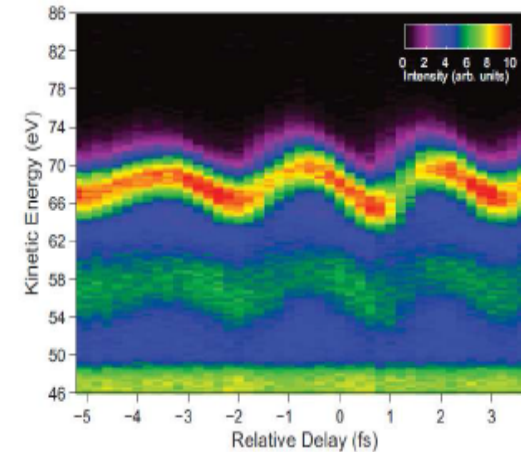
Chronoskopie: komplementäre Information zur
Spektroskopie (hohe Zeitauflösung (Attosekunden) statt
hoher Energieauflösung)

Observable:

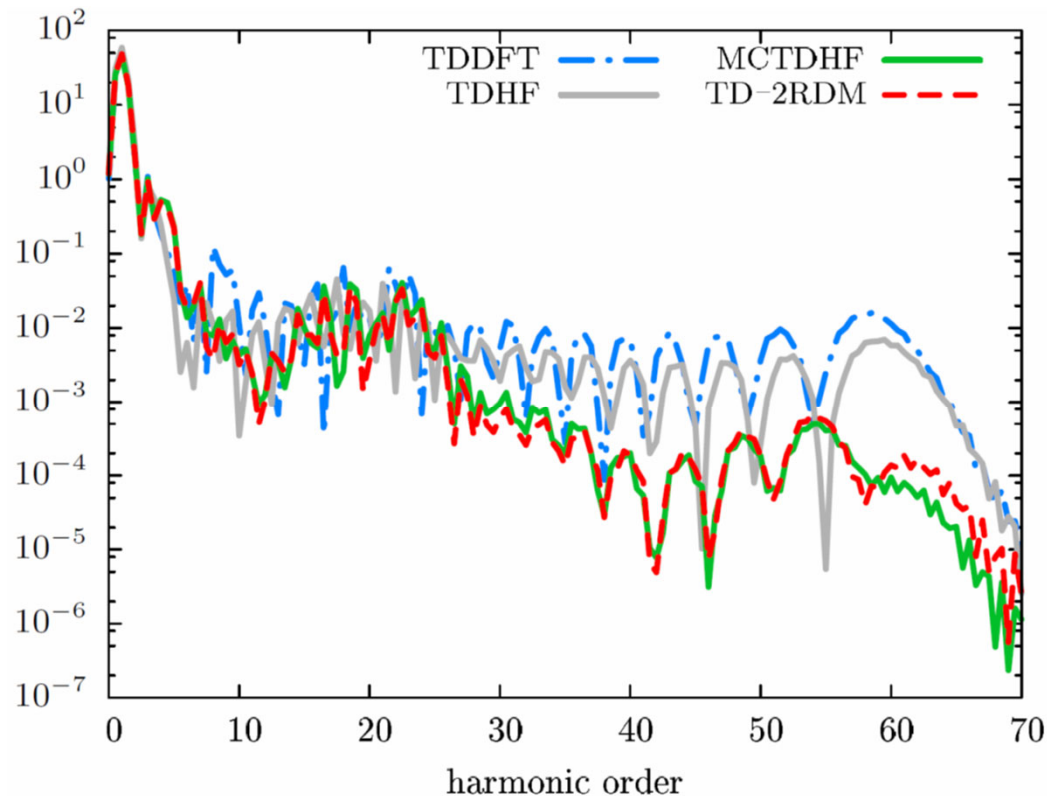
- Lebensdauer von Anregungen
- Dekohärenz-Zeiten
- Transportzeiten

Beispiele:

- Streaking (atomares Stroboskop; Zeitinformation in Energie der Photoelektronen codiert)
- High harmonics generation (Erzeugung hochenergetischer Photonen durch ultraschnelle Prozesse)



Beschreibung der Viel-Teilchendynamik

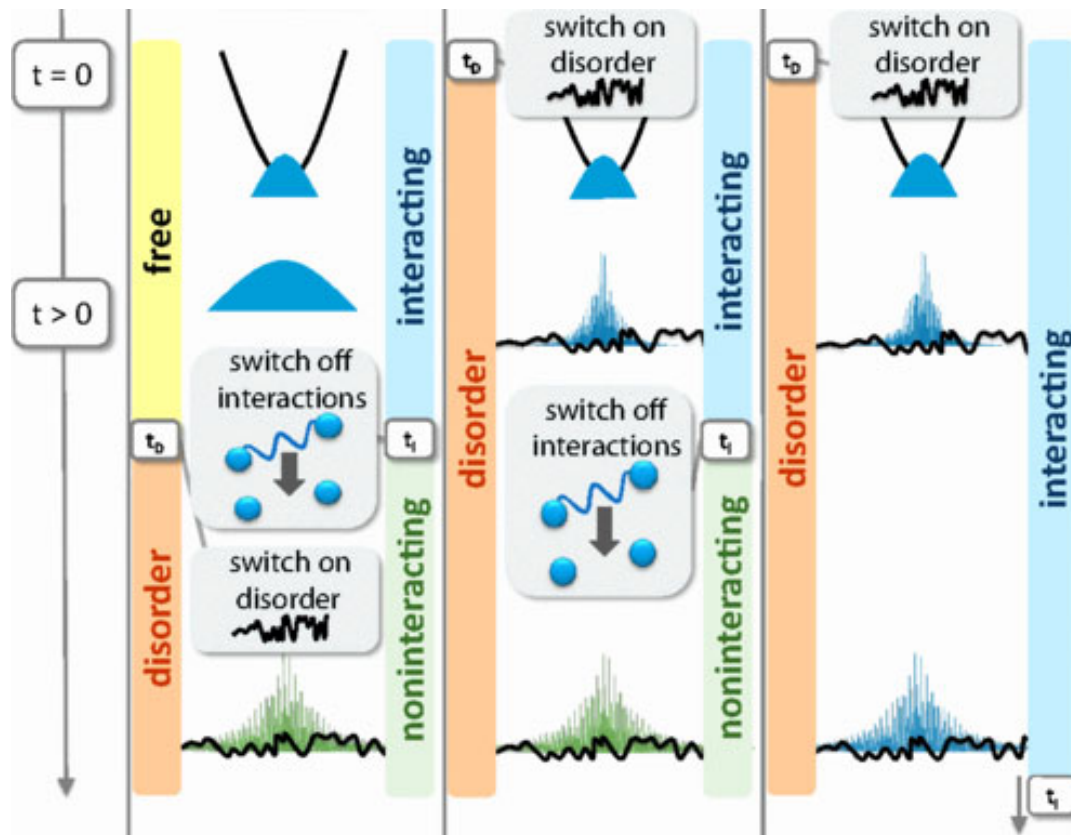


“mean-field” Theorien
(DFT, Hartree-Fock)
einfach zu rechnen

aber: Korrelationseffekte
wichtig

→ Entwicklung der
“Two-particle reduced
density matrix”-Methode

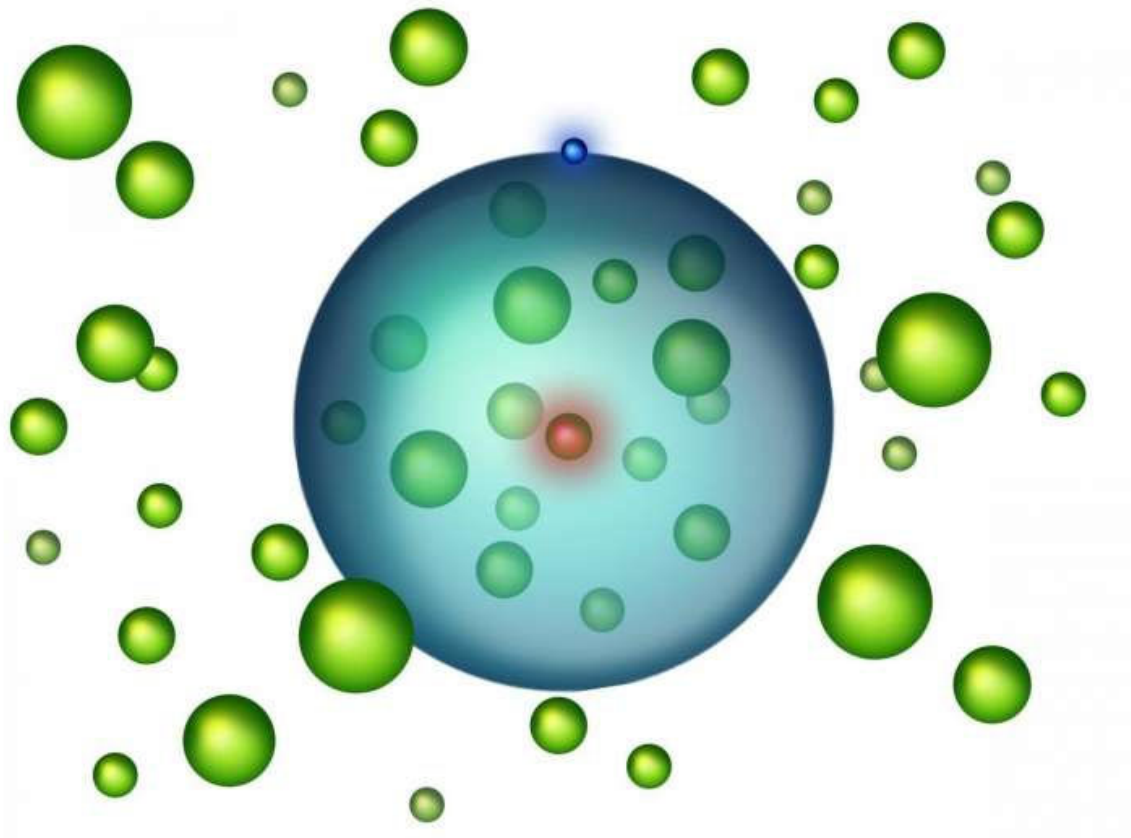
Langzeit-Expansion von Bose-Einstein-Kondensaten



Lösung der Gross-Pitaevskii-Gleichung
(nicht-lineare Schrödingergleichung)

- mit/ohne atomare Wechselwirkung
- mit/ohne Störpotential

Bildung von Rydberg-Polaronen



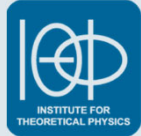
Wechselwirkung von Rydberg-Atomen (Radius mehrere 100 nm) mit Bose-Einstein-Kondensat: Kondensat-Atome "haften" an Rydberg-Atom

<https://phys.org/news/2018-02-creation-rydberg-polarons-bose-gas.html>

Karungo et al., Phys. Rev. A **102**, 063317 (2020)

Whalen et al., Phys. Rev. A **101**, 060701 (2020)





Komplexe Wellenstreuung

Arbeitsgruppe Rotter



MEMBER OF:



SUPPORTED BY:



Experimentelle Zusammenarbeit:



Universiteit Utrecht

USC Viterbi
School of Engineering



THE HEBREW
UNIVERSITY
OF JERUSALEM



Département
de Physique
École normale
supérieure

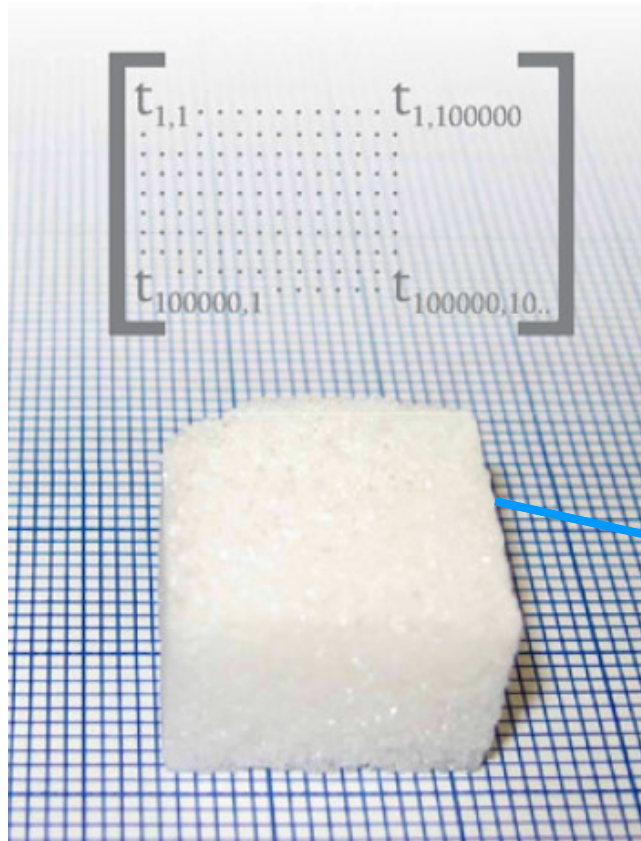


Institut Langevin
ONDES ET IMAGES

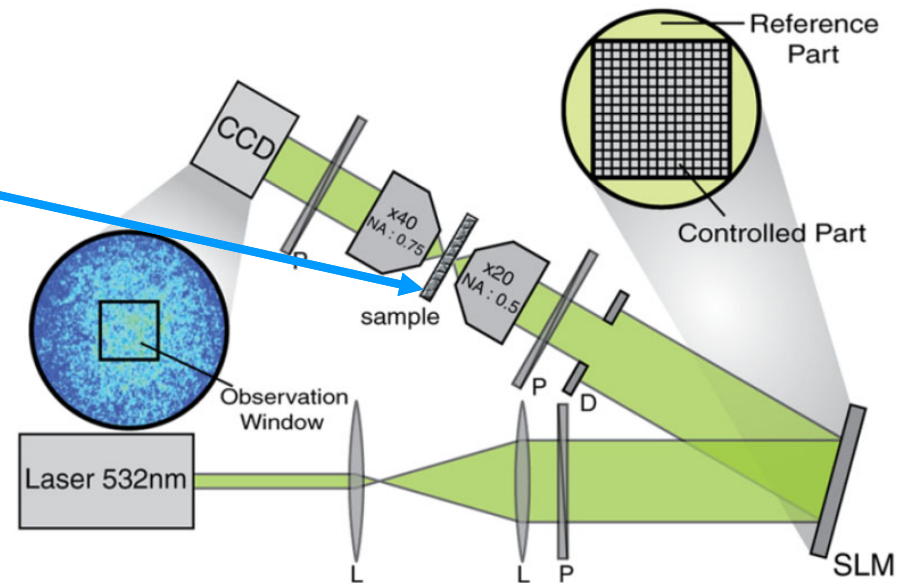
Yale University



PennState

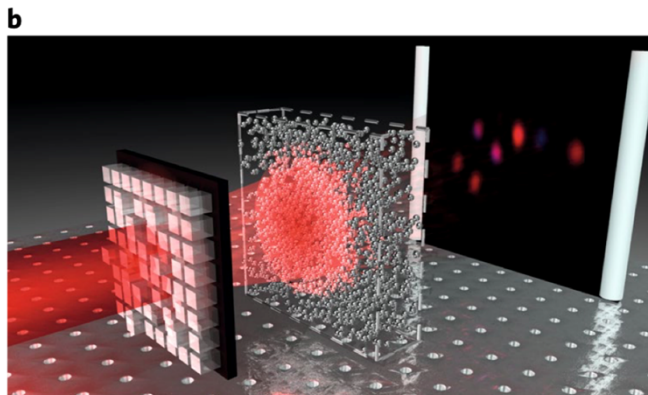
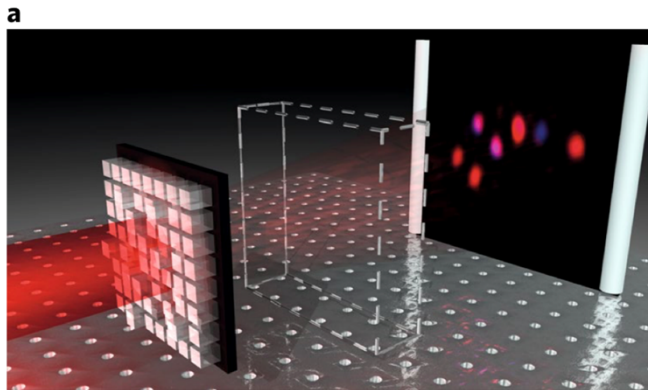


Neue Experimente zur Vermessung
und Kontrolle von Lichtfeldern in
ungeordneten Medien:



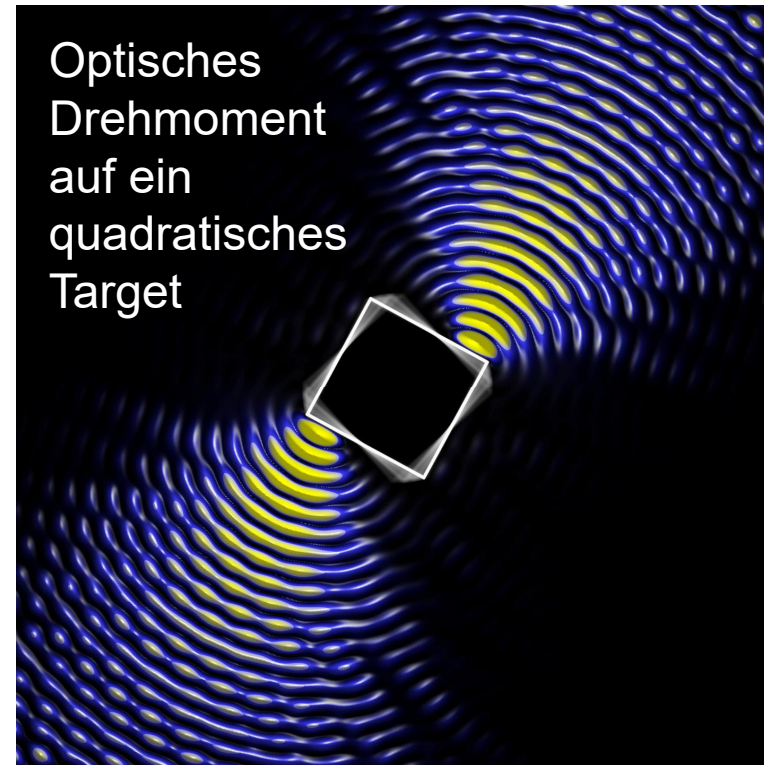
Popoff, Lerosey, Carminati, Fink, Boccaro, and Gigan,
Phys. Rev. Lett. 104, 100601 (2010).

Lichtstrahlen die ungeordnete Medien unverändert durchdringen:



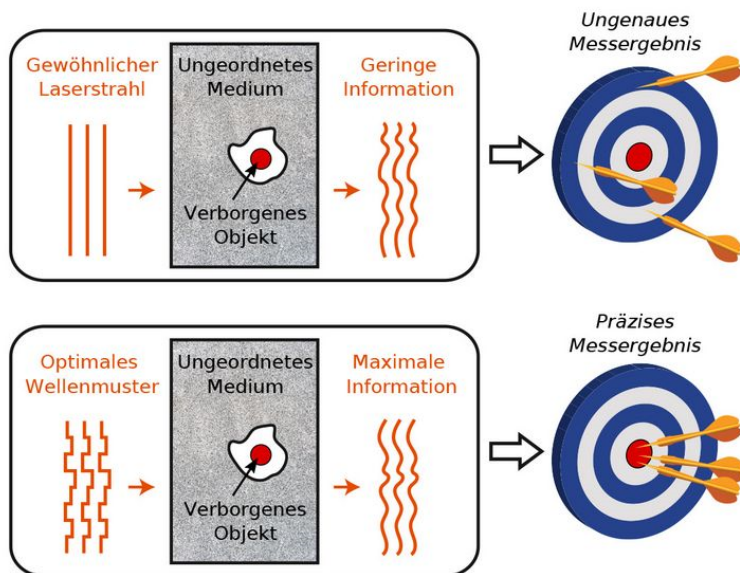
Pai, Bosch, Kühmayer, Rotter & Mosk,
Nature Photonics (2021).

Lichtfelder zur effizienten
Manipulation von kleinen Teilchen:



Horodynski, Kühmayer, Brandstötter,
Pichler, Fyodorov, Kuhl & Rotter,
Nature Photonics 14, 149 (2020).

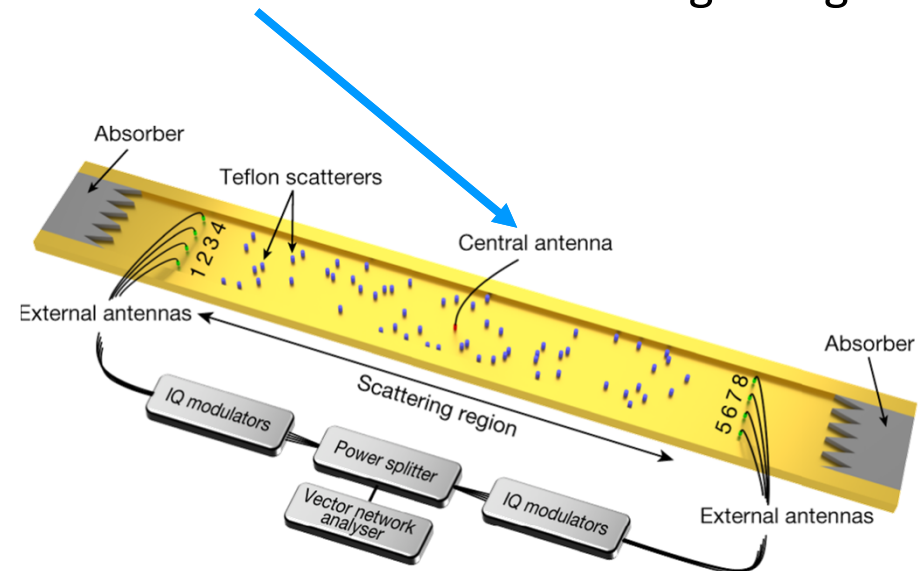
Optimale Messgenauigkeit mit maßgeschneiderten Wellen:



Präzise Lokalisierung von Objekten

Bouchet, Rotter & Mosk,
Nature Physics (2021).

Perfekte Kopplung an eine Antenne in streuender Umgebung:

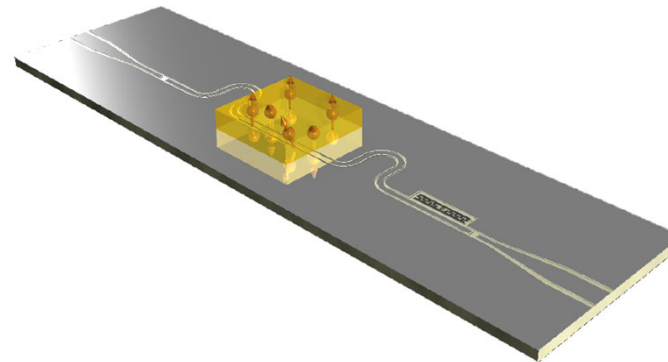
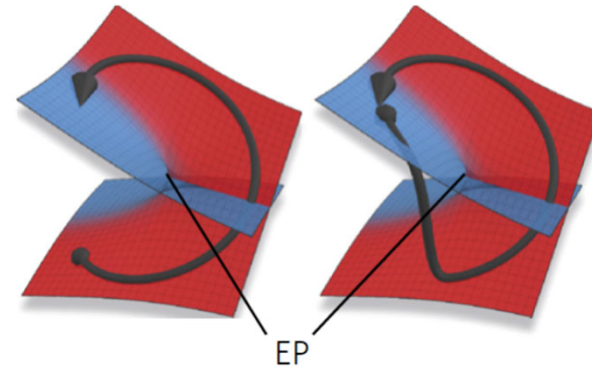


Erste Realisierung eines
Random Anti-Lasers

Pichler, Kühmayer, Böhm,
Brandstötter, Ambichl, Kuhl & Rotter,
Nature 567, 351 (2019).

Weitere Forschungsschwerpunkte:

- Nicht-Hermitesche Physik (Exceptional Points)
- Theoretische Quanten-Optik (Spin Ensembles)
- Machine Learning



Mehr Informationen auf: rottergroup.itp.tuwien.ac.at

Bei Interesse an Mitarbeit: Email an stefan.rotter@tuwien.ac.at



Quantenchemische Methoden zur Materialsimulation

Materialeigenschaften lassen sich mit Hilfe der Quantenmechanik und moderner Supercomputer berechnen.



Prof. A. Grüneis

Univ.-Ass. F. Hummel

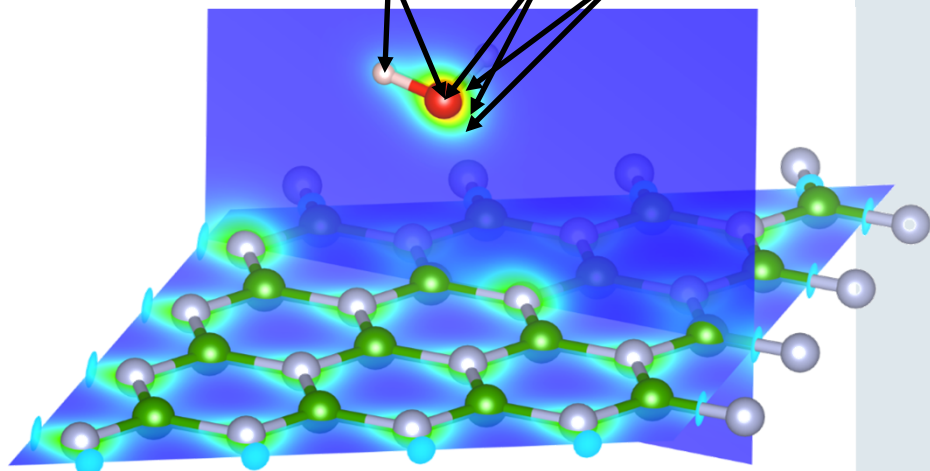
Univ.-Ass. T. Schäfer

$$\hat{H}\Psi = E\Psi$$
$$\hat{H} = \hat{T}_n + \hat{V}_{nn} + \hat{T}_e + \hat{V}_{ne} + \hat{V}_{ee}$$

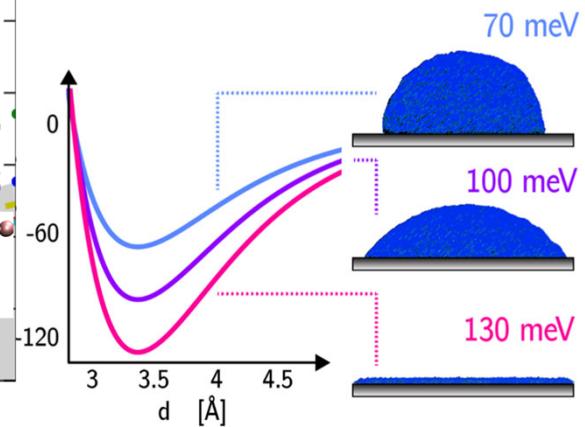
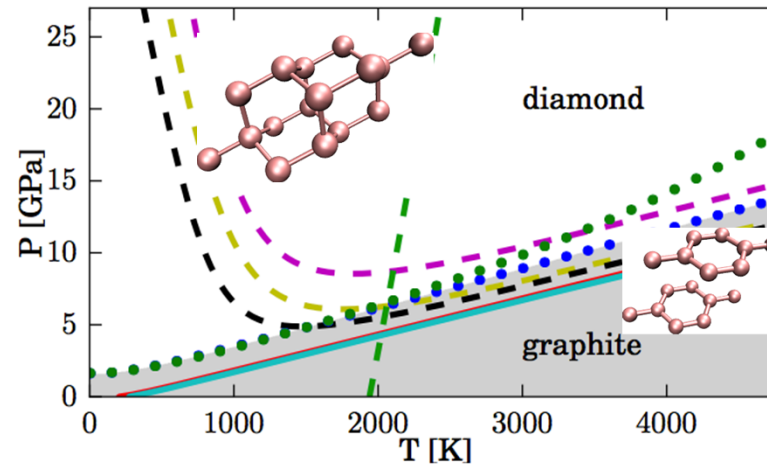
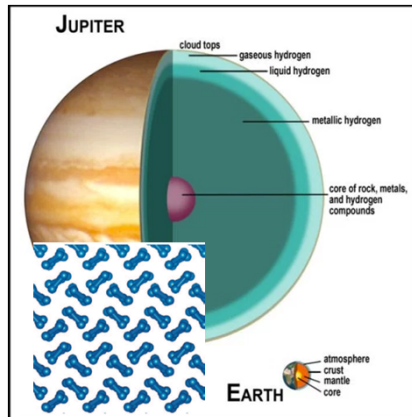
Theorie & Methodenentwicklung:

- Elektronische Strukturtheorie
- Mean-field Näherungen
- Vielteilchen Quantenphysik
- Quantenchemische Methoden (Wellenfunktionsbasierte Ansätze)
- Machine Learning

<http://cqc.itp.tuwien.ac.at/>

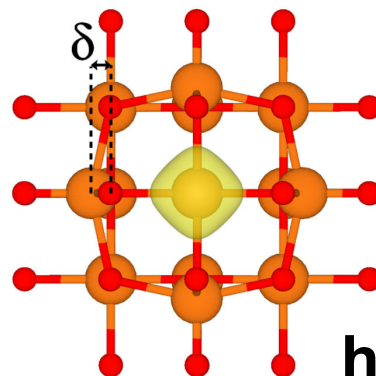
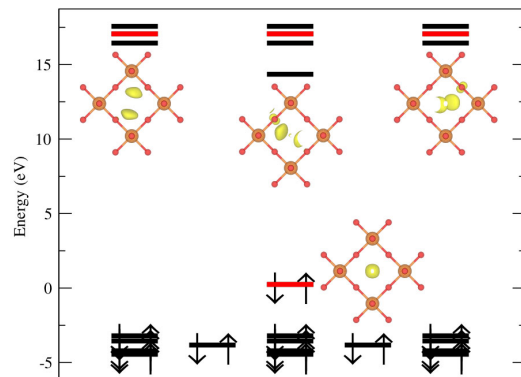


Anwendungen



Phasendiagramme: z.B.: Stabilität und Phasenübergänge von Materie als Funktion von Druck und Temperatur.

Molekül-Oberflächen Wechselwirkung
z.B.: Bindungsenergie von Wassermolekül bestimmt makroskopische Eigenschaften.



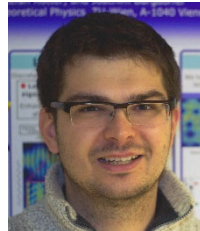
Angeregte Elektronische Zustände

z.B.: Optische Eigenschaften von Farbzentren in Kristallen.

<http://cqc.itp.tuwien.ac.at/>



Univ.Ass. T. Fabian



Assoc.Prof. F. Libisch



DI C. Schattauer



DI V. Smejkal

Strom durch kleinste Strukturen: Nanoelektronik

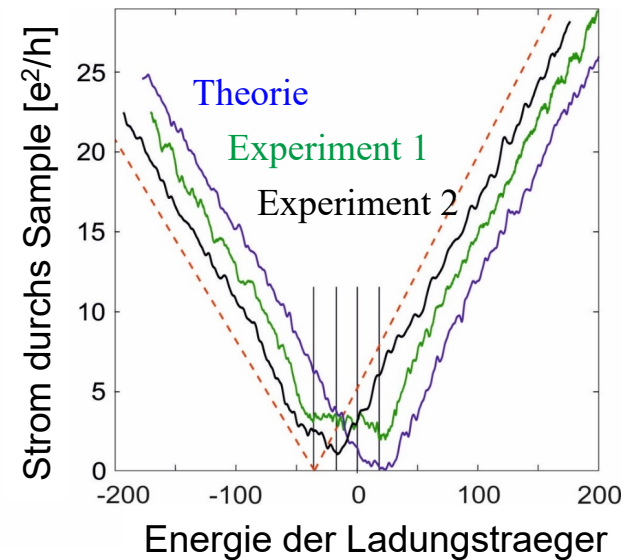
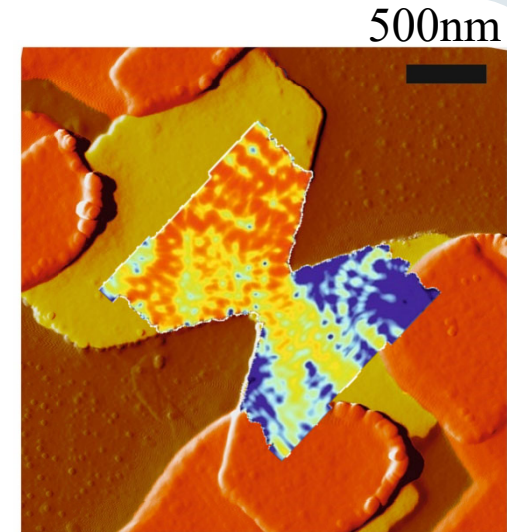
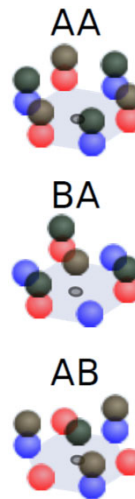
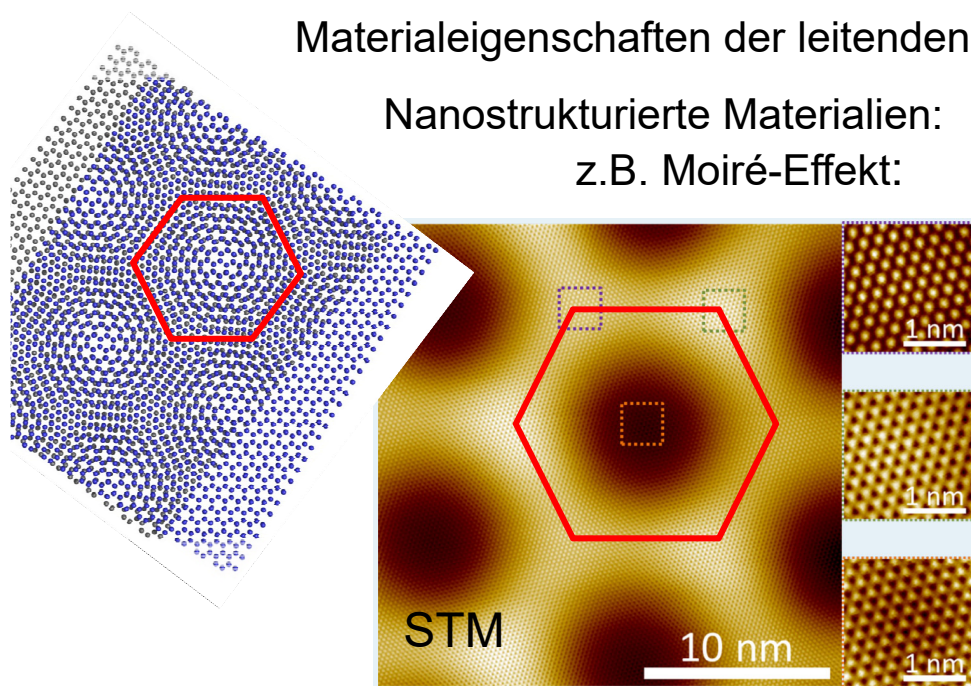
Wellennatur der Leitungselektronen relevant!

Streuproblem (Schrödingergleichung mit Streurandbedingungen)

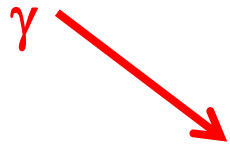
Materialeigenschaften der leitenden Schichten

Nanostrukturierte Materialien:

z.B. Moiré-Effekt:

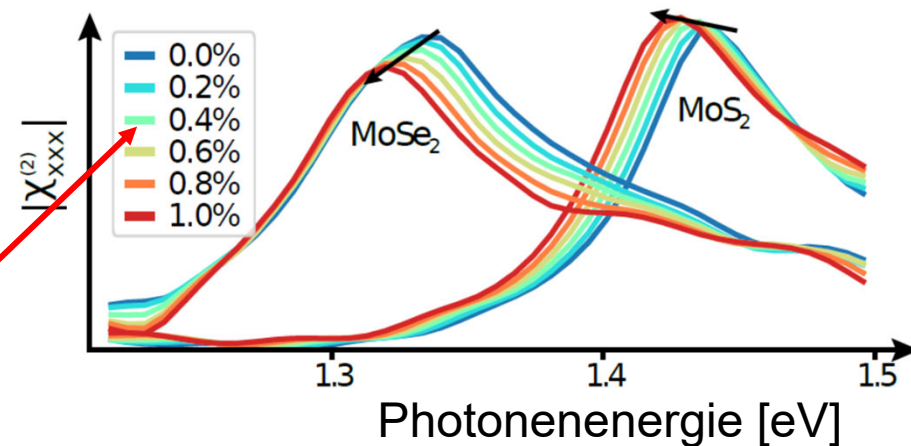
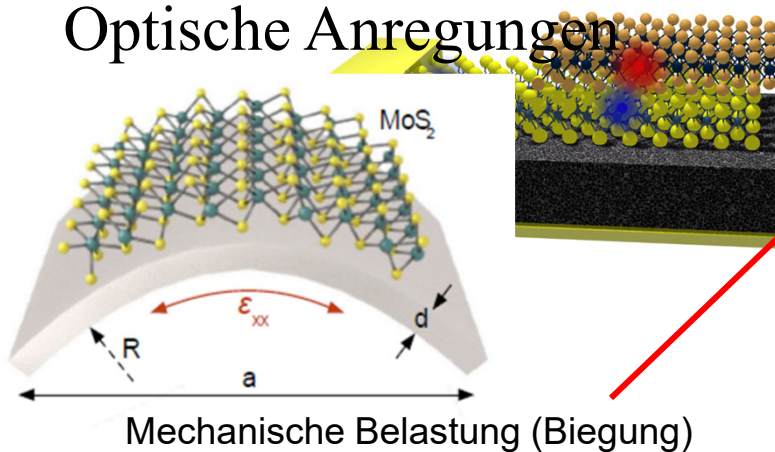


Modellierung der Elektron-Loch Paare (Excitonen)



MoS₂ / WSe₂ Heterostruktur
Funktionierende 6 Atomlagen
dicke Solarzelle

Optische Anregungen



Spezialvorlesung:

Theoretical Solid State Physics I (WS) + II (SS)
(132.034, 132.054)

Webpage:

<https://tqd.itp.tuwien.ac.at/>

<http://dollywood.itp.tuwien.ac.at/~florian/>



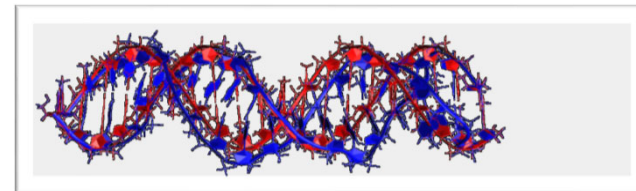
Univ.Prof. Dr. Gerhard Kahl

Weiche Materie

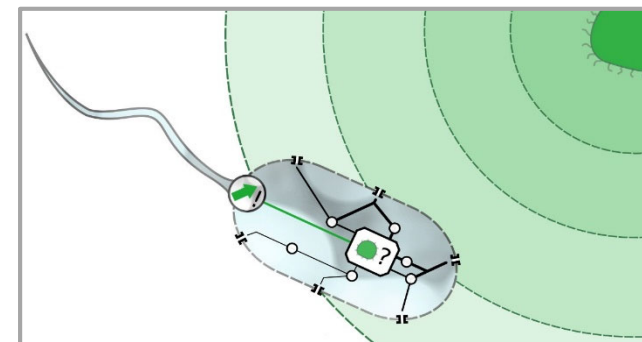
- Allgegenwärtig im täglichen Leben (Lebensmittel, Pharmazeutika, Farbe)
- Stark interdisziplinäres Forschungsgebiet (Physik, Chemie, Biologie, Mathematik, Informatik)
- Sehr zukunftsreich im Bereich der funktionellen Materialien

Lehrveranstaltungen

- Theorie der weichen Materie (SV)
- Phasenübergänge und kritische Phänomene (SV)
- Computational Statistical Physics (VU)
- Thermodynamik (VO + UE)



Modell einer DNA



Modell einer aktiven Zelle

Website: smt.tuwien.ac.at

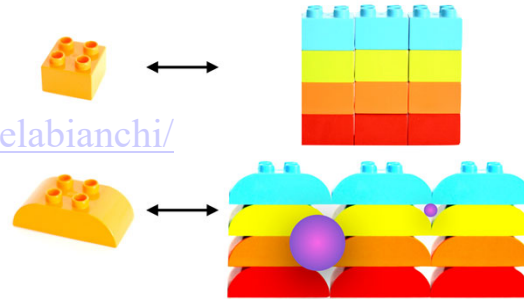


Assist.
Prof.
Emanuela
Bianchi

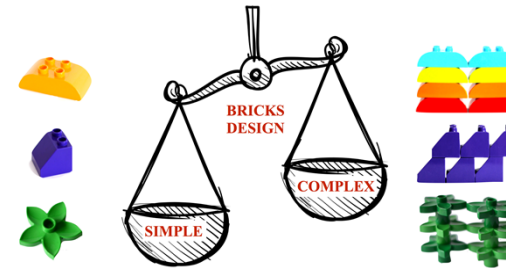
<https://sites.google.com/view/emanuelabianchi/>

Designing materials at the macro-scale (colloids)

♦ open target structures

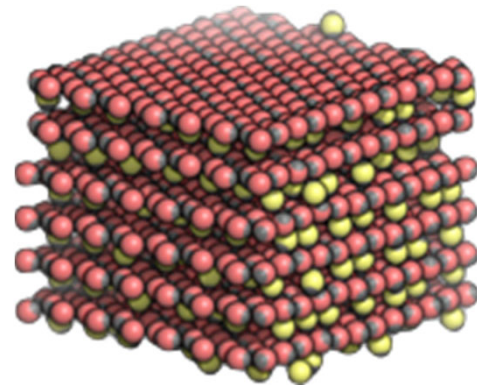
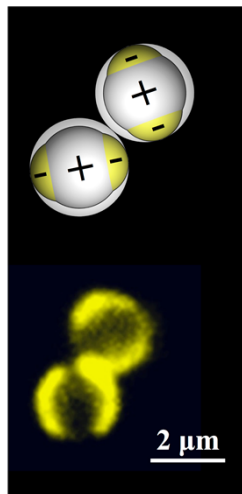


♦ brick design



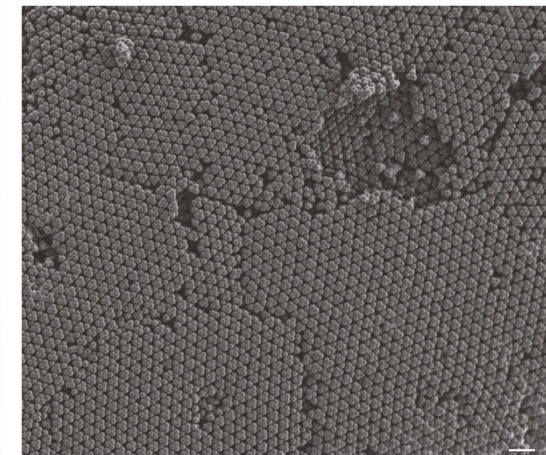
Direction-dependent interactions between units!

Heterogeneously charged colloids



Nanoscale, v. 9, p. 1956 (2017)

Colloidal diamond crystal (July 2020)



Nature, v. 585, p. 524 (2020)

Applications: photonics, catalysis, filtering, storing, drug delivery

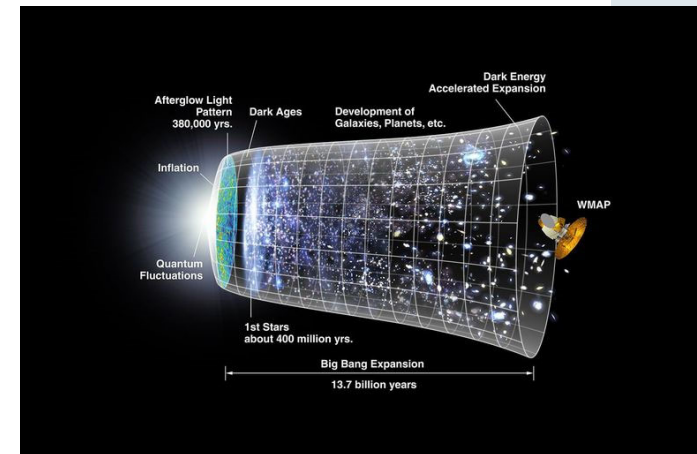
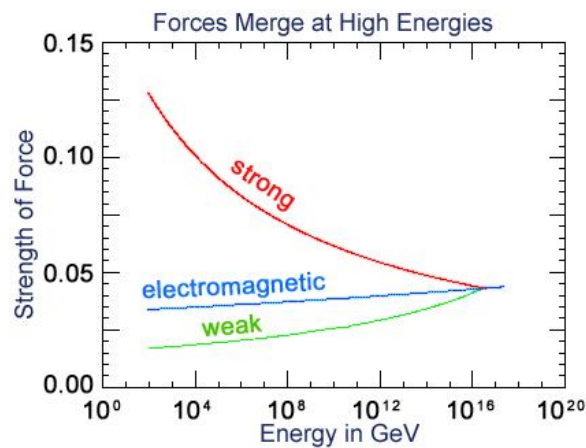
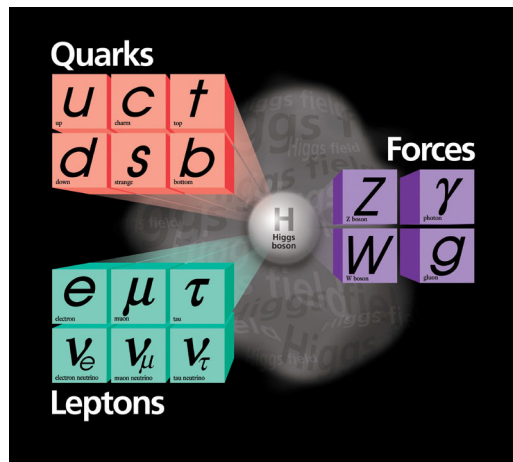


Fundamentalste Fragen:

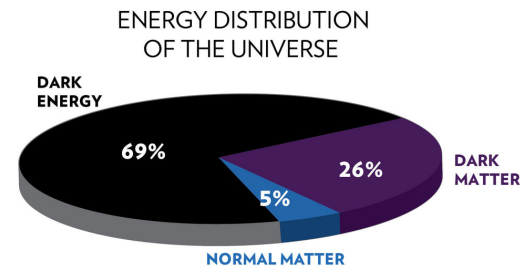
[www.itp.tuwien.ac.at/Fundamental Interactions](http://www.itp.tuwien.ac.at/Fundamental_Interactions)

1) Standardmodell der Teilchenphysik noch mit Gravitation als universeller Kraft zu kombinieren

2) Gravitationstheorie noch mit Quantentheorie in Einklang zu bringen



3) \exists Hinweise auf "Neue Physik" jenseits des Standardmodells mit neuen Teilchen und Kräften, die für Dunkle Materie verantwortlich sein könnten



Laufende FWF-Projekte und Principle Investigators:

Teilchenphysik: Starke Wechselwirkung (Quantenchromodynamik)

Prof. [A. Rebhan](#) (FWF Projekt P 33655: Holographic QCD and Hadron Physics)

Doz. [A. Jopp](#) (FWF Projekt P 32446: Upscaling Glasma simulations using machine learning)

Univ.-Ass. [K. Boguslavski](#) (FWF Projekt P 34455: Nonperturbative properties of evolving gluonic plasmas)

Eich-/Gravitations-Dualität

Assoc.-Prof. [D. Grumiller](#) (FWF Projekt P 33789: Generalized SYK/JT correspondences)

Prof. [A. Rebhan](#) (FWF Projekt P 33655: Holographic QCD and Hadron Physics)

Quantengravitation und Kosmologie

Assoc.-Prof. [D. Grumiller](#) (FWF Projekt P 30822: Soft Heisenberg hair on horizons)

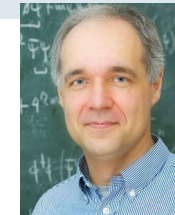
Doz. [T. Wrase](#) (FWF Projekt P 30265: Nonlinear Supergravity)

Univ.-Ass. [D. Andriot](#) (Lise-Meitner-Projekt M2247: Towards phenomenology from string theory)

FWF-Doktoratskolleg “Particles & Interactions” www.dkpi.at

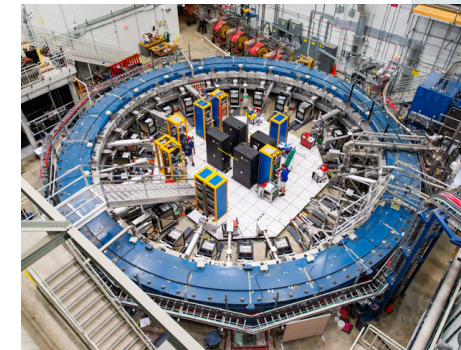
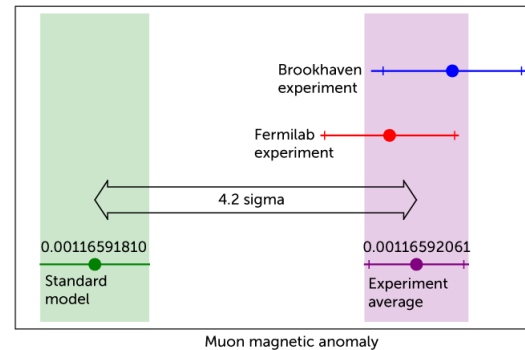
zusammen mit Atominstitut, Uni Wien, Akademie (HEPHY, SMI)

Quantenchromodynamik und Hadronphysik (Prof. [A. Rebhan](#))



Starke Wechselwirkung von Quarks und Gluonen, die Hadronen als Bindungszustände bilden, durch neue stringtheoretische Methoden behandelt, erlaubt u.a. neue Erkenntnisse zu deren Beiträgen zum *anormalen magnetischen Moment des Myon*

→ *hadronische Licht-an-Licht-Streuung*, wichtiger Beitrag für das kürzlich (7. April 2021) veröffentlichte Ergebnis am Fermilab (Chicago)



Siehe TU News: <https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/myon-magnetismus-hinweise-auf-neue-physik>

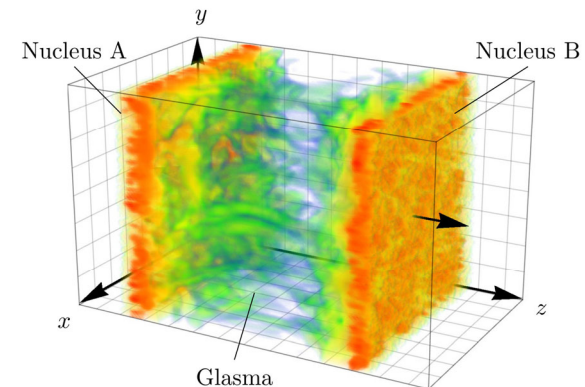
Quark-Gluon-Plasma (Doz. [Andreas Ipp](#), Univ.-Ass. [Kirill Boguslavski](#))



Bei sehr hohen Temperaturen und Dichten können die Quarks und Gluonen aus den Hadronen befreit werden und ein *Quark-Gluon-Plasma* bilden.

- * Im frühen Universum: Mikrosekunden nach dem Urknall
- * Heutzutage: in Schwerionenkollisionen an Teilchenbeschleunigern wie LHC und RHIC für ein paar Yoctosekunden (10^{-24} sek)

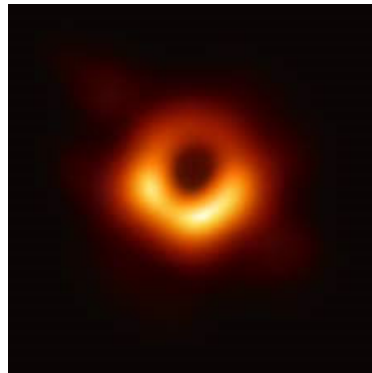
Am Institut führen wir Simulationen des Quark-Gluon-Plasmas durch, um seine thermischen und nichtthermischen Eigenschaften besser zu verstehen – mit einer großen Bandbreite an Analysewerkzeugen, die von Störungstheorie bis zum maschinellen Lernen reichen!



Schwarze Löcher & Holographie (Assoc.-Prof. [Daniel Grumiller](#))



Schwarze Löcher scheinbar paradox:



Klassisch: einfachste makroskopische Objekte im Universum
(eindeutig bestimmt durch Masse, Spin und Ladung – wie Elementarteilchen)

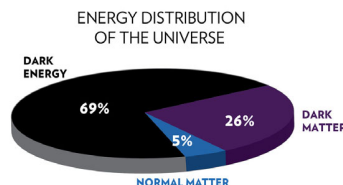
Quantisch: entropischsten Objekte in diesem (oder jedem anderen) Universum
(Anzahl Mikrozustände \sim Googolplex)

Schwarze Löcher faszinierend für Forschung:

Experimentell: Röntgenastronomie, Gravitationswellen, Schatten, ...

Theoretisch: asymptotische Symmetrien, Holographie, Quantengravitation, ...

String-Kosmologie (Doz. [Timm Wrase](#), Univ.-Ass. [David Andriot](#))



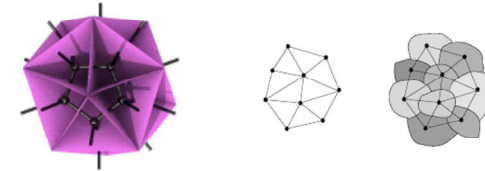
Was steckt hinter der Dunklen Energie?

Kann sie durch stringtheoretische Modelle erklärt werden?

- * Konstruktion von kosmologischen Modellen auf der Basis der Stringtheorie, Suche nach Lösungen mit einer de Sitter Raumzeit, die frühes Universum (Inflation) oder Spätphase (kosmologische Konstante) beschreiben
- * Abstecken der Grenzen für stringtheoretische Modelle ([Swampland-Programm](#))

Loop Quantum Gravity (Doz. Herbert Balasin)

- * Distributionelle Relativitätstheorie und Schleifen-Quantengravitation
- * Ultrarelativistische Schwarze Löcher
- * Quantisierung von pp-Gravitationswellen



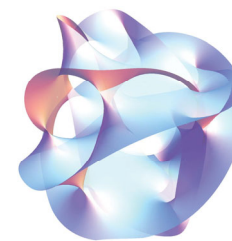
Scale dependent gravity (Univ.-Ass. Benjamin Koch)

- * Quanteneffekte können die Newton-Konstante und die kosmologische Konstante Energieskalen-abhängig machen
- * Welche phänomenologischen Konsequenzen hat dies?



String-Kompaktifizierungen und inhomogene Kosmologie (Doz. Harald Skarke)

- * weltweit größte Datenbank zu Calabi-Yau-Mannigfaltigkeiten ("Kreuzer-Skarke list")
<http://hep.itp.tuwien.ac.at/~kreuzer/CY/>
 (473.800.776 sechs-dimensionale Calabi-Yau's mit denen 10-dimensionale Stringtheorie auf 4Dimensionen "kompaktifiziert" werden können)
- * Auswirkungen von Inhomogenitäten in der Kosmologie



2-dim. Schnitt durch eine CY



Danke für Ihr Interesse!

Weitere Informationen finden Sie auf
<http://itp.tuwien.ac.at>