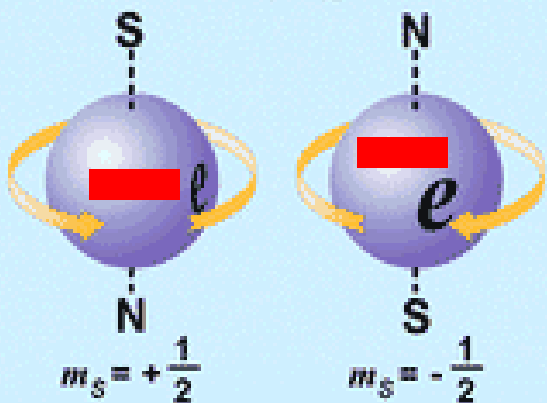


Spin-X-tronik → D2

Themen: Neue Schichtsysteme und Bauelemente

- ❑ Elektronische Eigenschaften von Festkörpern (Experiment und Theorie)
- ❑ Zusammenhang zwischen Ladung, Spin und Transport (elektrisch, thermisch, ...)
- ❑ Anwendungen: Datenspeicherung, Sensorik, Biophysik

Electron Spin



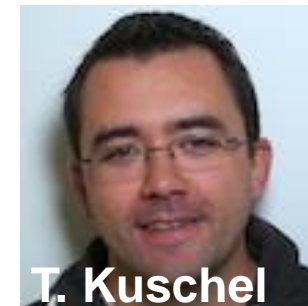
J. Schmalhorst



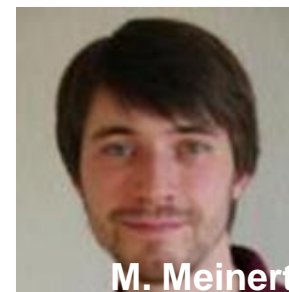
Jay Koo



G. Reiss



T. Kuschel

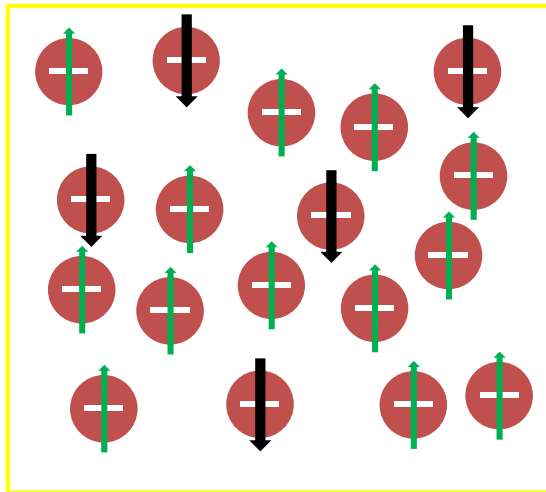


M. Meinert

... jetzt Prof. bei TU Darmstadt

Spin-X-tronik → Spintransport – what's that ?

Beispiel: Spinpolarisierte Materialien



Spin-Polarisation

$$P = \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}}$$

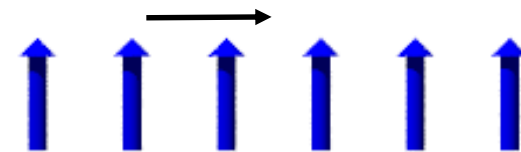
.. wie wirkt sich P auf
Transport aus?

Beispiel: Spinströme

Transport von Ladung und Spin



Reiner Spintransport



Spin-X-tronik → What's that ??

Nicht nur elektrisches Feld treibt Elektronen !

$$\vec{J}_{charge} = \begin{bmatrix} j_{c,x} \\ j_{c,y} \\ j_{c,z} \end{bmatrix} = \overset{\sigma}{\leftrightarrow} \vec{E} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix}$$

σ_{aa} : "Leitfähigkeit"
 σ_{ab} : Hall-Effekt → Magnetfeld B

und: nicht nur Elektronen können „strömen“:

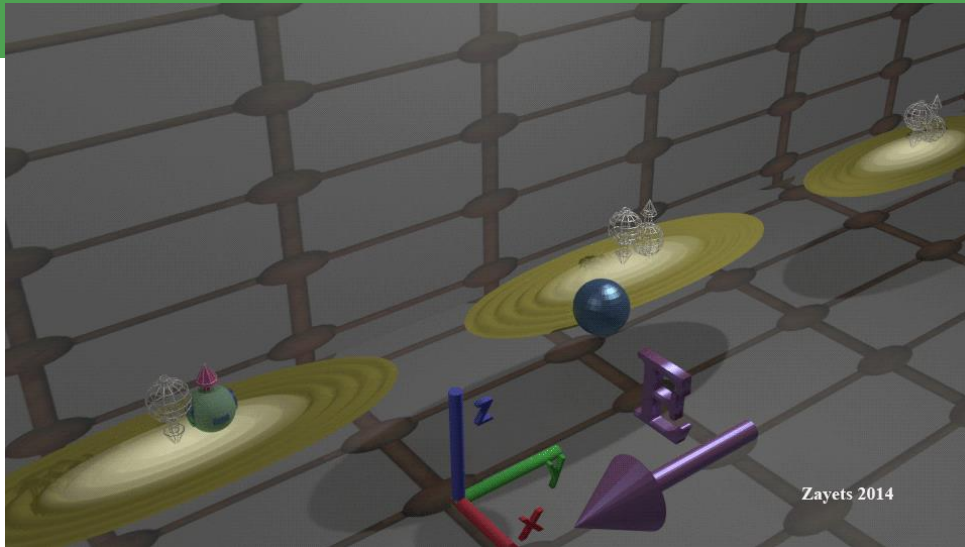
$$\vec{J}_{allg.} = \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} \sigma_{xxi} & \sigma_{xyi} & \sigma_{xzi} \\ \sigma_{yxi} & \sigma_{yyi} & \sigma_{yzi} \\ \sigma_{zxi} & \sigma_{zyi} & \sigma_{zzi} \end{bmatrix} \cdot \overrightarrow{Driving\ Force}_i$$

Die Hauptdiagonal-Elemente sind die „einfachen“ Leitfähigkeiten
 Die Neben-Diagonalelemente geben Effekte wie Seebeck-, Nernst-, .. XYZ-Effekt

Ströme: Ladung (I), Wärme (Q), Spin (S), Material (m),

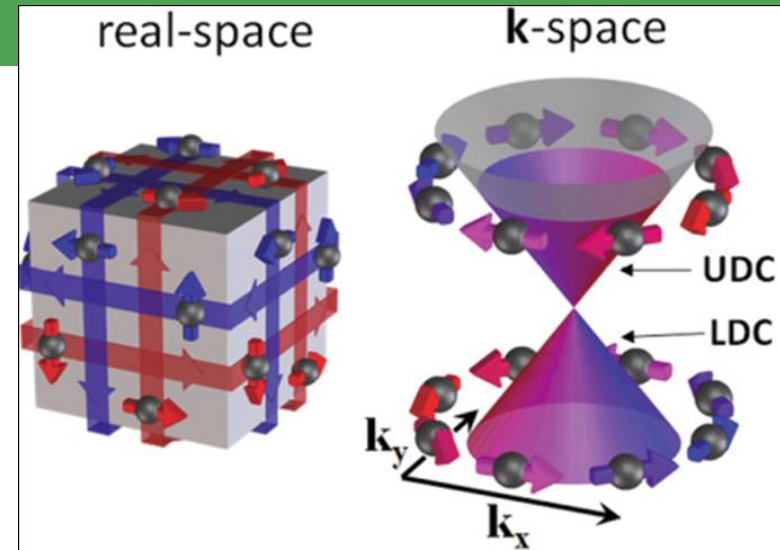
Kräfte: Elektrisches Feld = grad(Φ), Temperaturgradient = grad(T), Konzentrationsgradient = grad(n), Spindichtegradient grad (S), ...

Spin-X-tronic: Many new Effects to Study



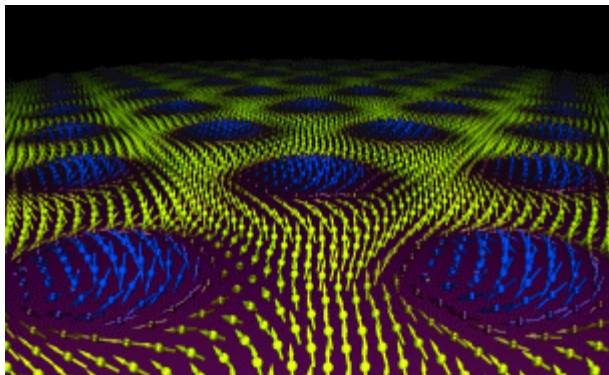
Spin Hall Effect, Spin Orbit Torque:

Die relativistische Spin-Bahn-Wechselwirkung erzeugt Spinströme ohne vorher polarisierte Elektronen



Topological Insulators:

Spin-Bahn-Wechselwirkung erzeugt Isolatoren, an deren Oberfläche leitfähige, spinpolarisierte Elektronenzustände existieren.



Skyrmion states:

Neue Grundzustände der Magnetisierung

Generelles Phänomen:

Hohe Spin-Bahn-Kopplung erzeugt neue Materialzustände und -eigenschaften, die u.U. topologisch geschützt sind, die Wandlung von Ladungs- in Spinströme erlauben,....

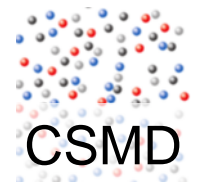
- Ziel: Charakterisierung, neue Materialien, neue Effekte
- Anwendungen in mikrostrukturierten Bauelementen

Spin-X-tronik → @ D2



Wir (und Sie) arbeiten in Forschungsverbänden:

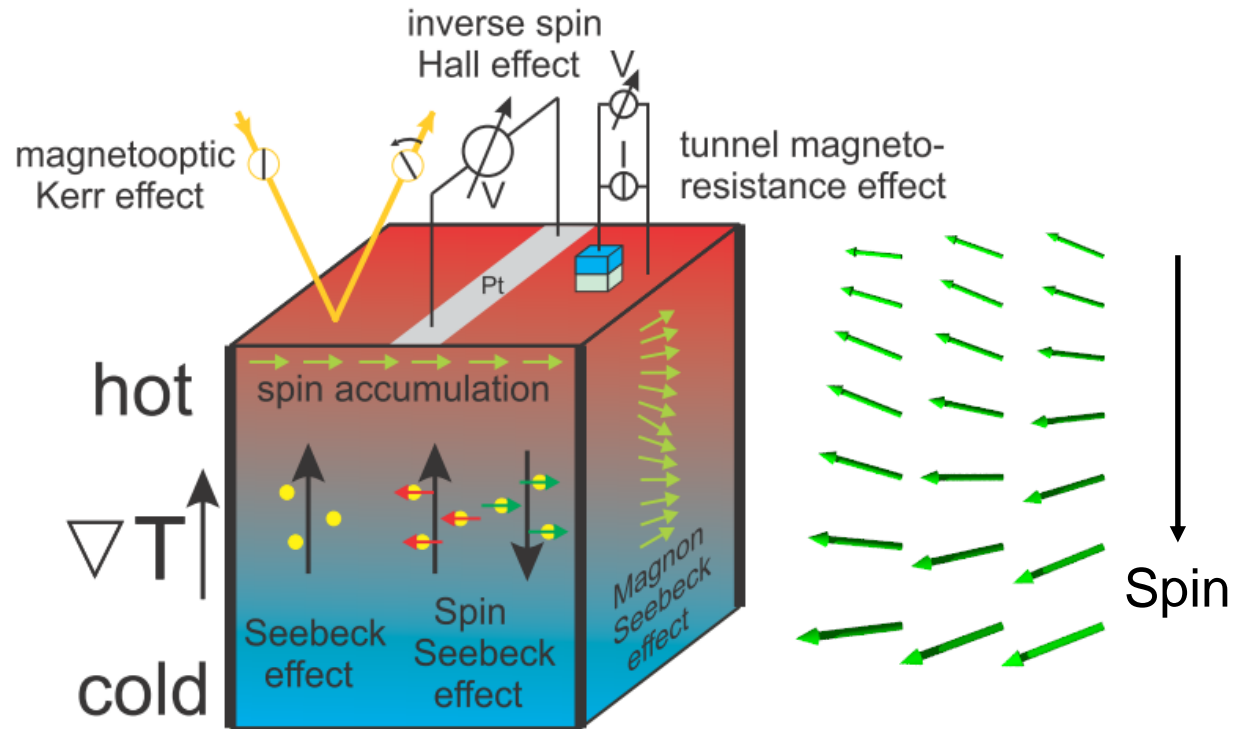
- Land NRW: Center for Spinelectronic Materials and Devices
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG):
 - Magnetoresistance in multilayer thin film systems
- EU HORIZON 2020: Magnetic diagnostic assay for neurodegenerative diseases
- BMBF Forschungslabore Mikroelektronik – Zentrum Magnetsensorik
→ Seit 01/2019, Uni Bielefeld / Uni Mainz
- BMBF Forschung für die Mikroelektronik – Ultrasensitive Sensorik



Spin-Caloritronics and -orbitronics (Timo Kuschel, Jay Koo, GR)



- thermal generation of spin currents
- detection by
 - magneto-optic Kerr effect (change of light polarization)
 - inverse spin Hall effect (spin current into charge current)
 - tunnel magnetoresistance effect (spin dependent tunnel resistance)



■ open questions and projects

- New materials for giant Spin-Hall- and Spin-Orbit-Torque effects (Master)
- Intrinsic spin-orbit-torque materials (**Bachelor / Master**)
- Interfaces in spin-orbit-torque film systems (**Master**)

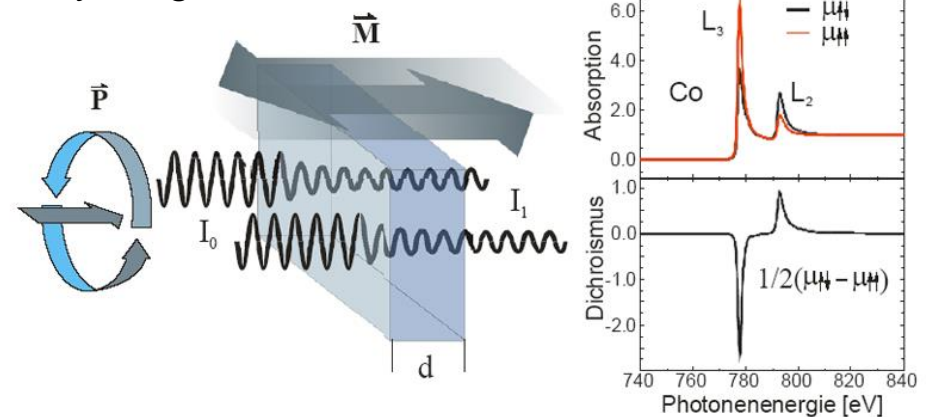
Analysis (Spectroscopy of surfaces and interfaces, Jan Schmalhorst, Timo Kuschel)



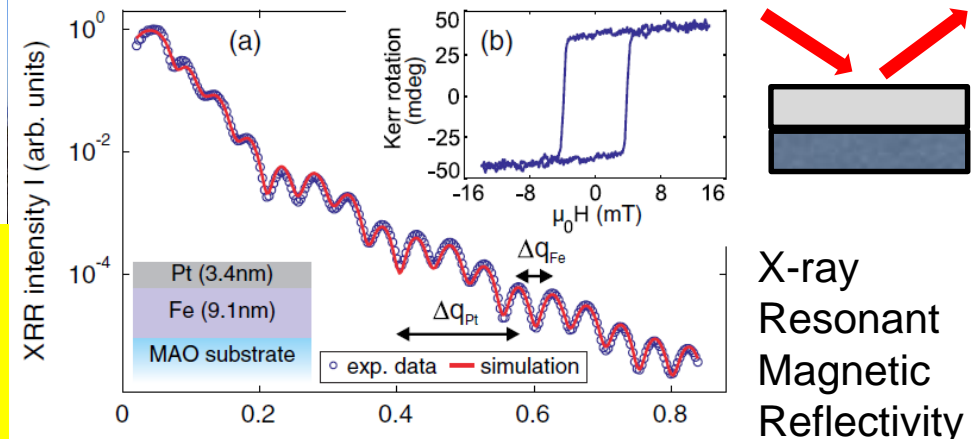
Investigations of new materials with state-of-the-art spectroscopy

- Measurement of element specific magnetic and electronic bulk and interface properties with X-ray absorption spectroscopy
- X-ray magnetic circular and linear dichroism – Magnetic moments with element specific resolution
- X-ray resonant magnetic reflectivity – Do non magnets become magnetic when in contact with ferromagnets ?

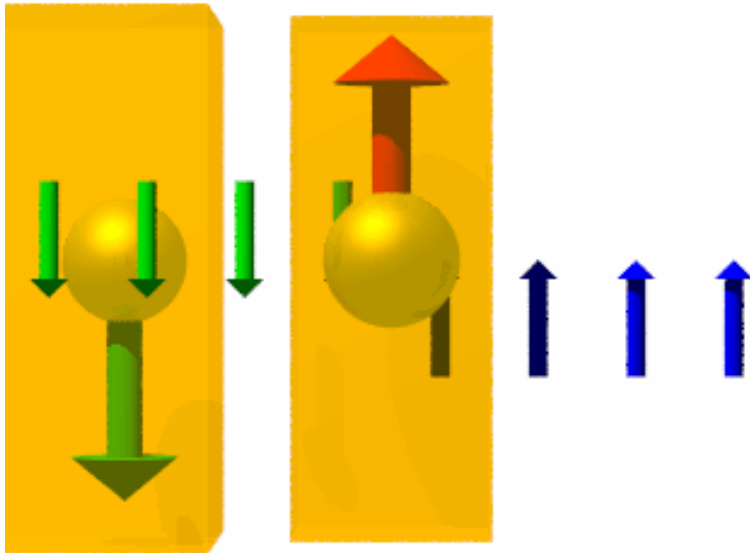
X-ray magnetic circular dichroism



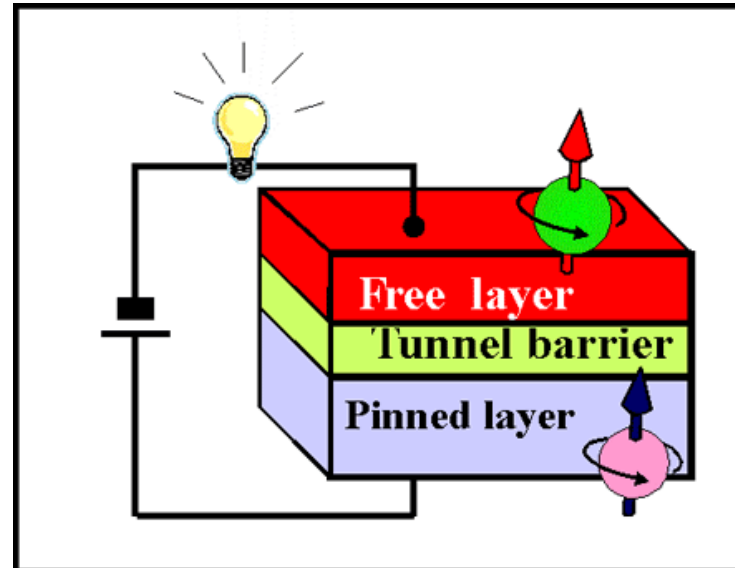
- Resistance, magnetoresistance and Hall-Effect in non-centrosymmetric multilayers (**Bachelor / Master**)
- Proximity effects in metals with high spin-orbit coupling (**Master**)



Spin-Electronics (G. Reiss, Jan Schmalhorst)



.. das war noch nicht alles:
Wenn Spin transportiert wird, dann
kann Drehimpuls übertragen werden



Mit diesem Spin Transfer Torque
kann man

- Magnete schalten
- Neue Sensoren bauen
- Neue Speicher bauen: STT-MRAM

- Spin-orbit torque in new material systems (**Bachelor / Master**)
- Electric field induced changes of the magnetic anisotropy (**Master**)
- Influence of metals with high spin orbit coupling on MRAM cells (**Bachelor / Master**)
- Magnetic sensors for diagnostic arrays (neurodegenerative diseases) (**Master**)
- Magnetic 3-D sensors (**Master**)

Spin-X-tronik @ D2 → Techniken



Herstellung dünner Schichten

- Schichtdickenkontrolle besser als eine Atomlage !
- Kontrollierte Zusammensetzung

Herstellung von Bauelementen:

- Optische Lithographie
- Elektronenstrahlolithographie
- Focussed Ion Beam Technik

Moderne, auch in der Industrie nachgefragte Methoden / Kenntnisse

Empfehlenswerte Vorlesungen

**FESTKÖRPERPHYSIK
NANOSTRUKTURPHYSIK**

**SUPRALEITUNG
MAGNETISMUS
HALBLEITERPHYSIK**

Spin – X - tronik → @ D2 → Take Home Messages

Bachelor- und Masterarbeiten:

- Gekoppelter Transport von Ladung, Spin und Wärme:

Spin-Elektronik
Spin-Kalorik
Spin-Orbitronik } Spin-X-tronic

- Neue Materialien:

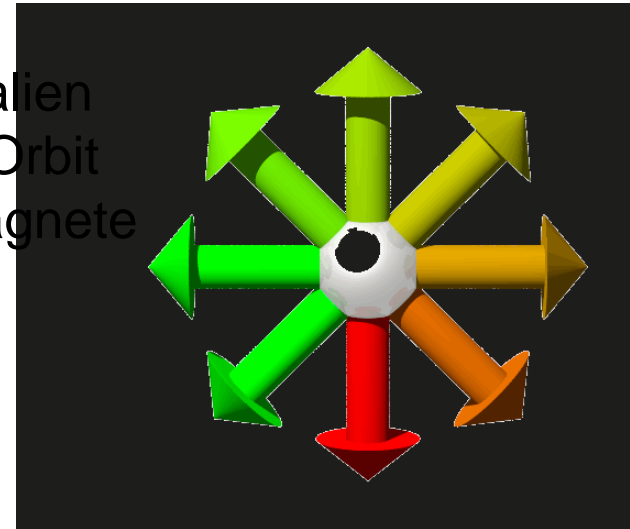
Spin-Bahn bestimmte Materialien
Topologisch, Spin Hall, Spin Orbit
Supraleitung, organ. Ferromagnete

- Material-Analytik:

Mikroskopie, magnetische
Eigenschaften, Struktur, ..
elementspezifische Analyse

- Anwendungen:

Neue Sensoren, neue Speicher, ...



→ Fragen Sie :

