

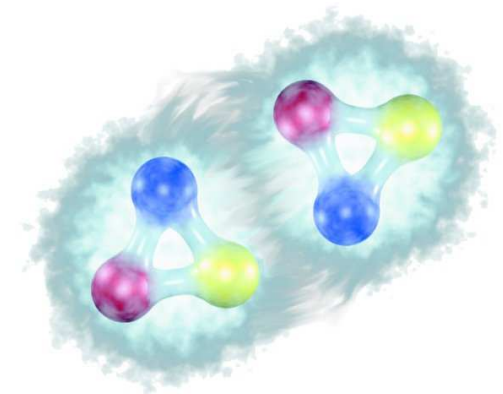
Struktur und Dynamik exotischer Kerne

Neue theoretische Konzepte der Kernstrukturphysik



Robert Roth

Institut für Kernphysik
Technische Universität Darmstadt



Aktuelle Herausforderungen

**REX-ISOLDE,
RISING, AGATA...**

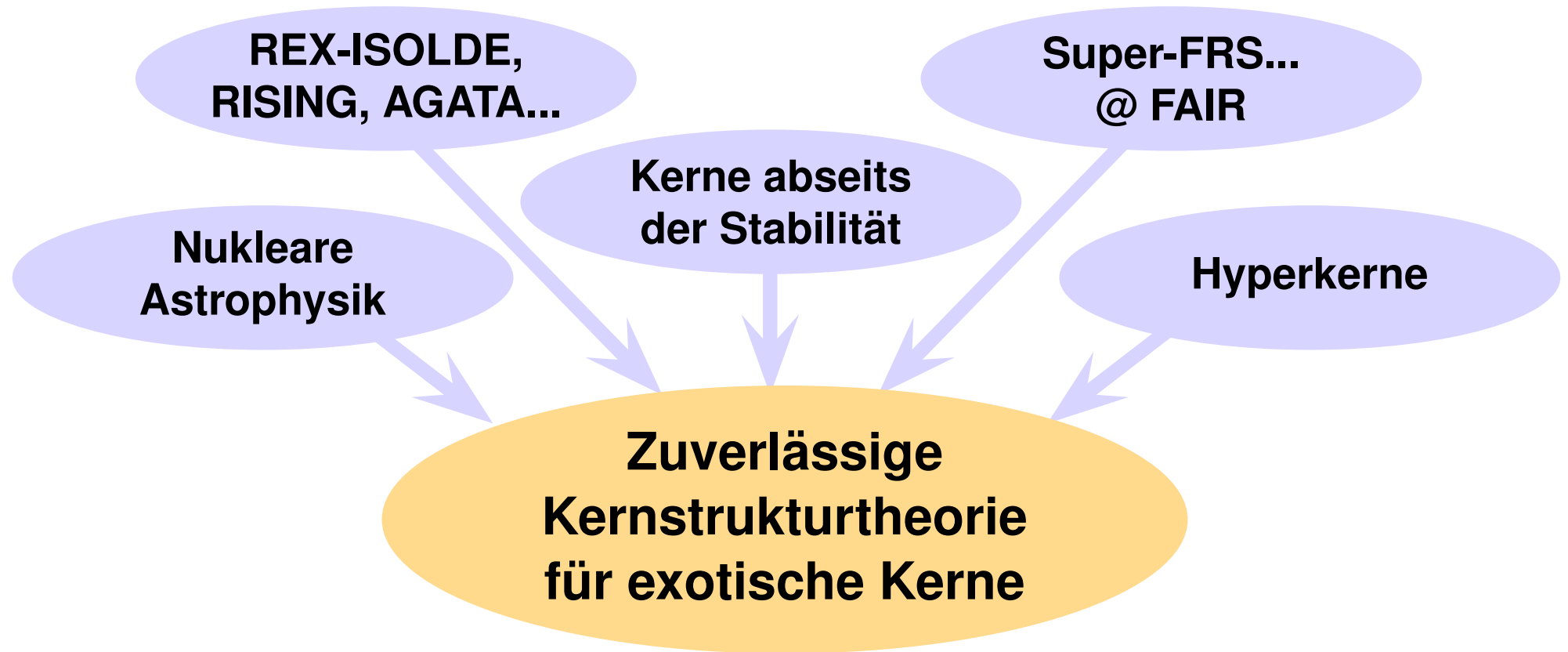
**Super-FRS...
@ FAIR**

**Nukleare
Astrophysik**

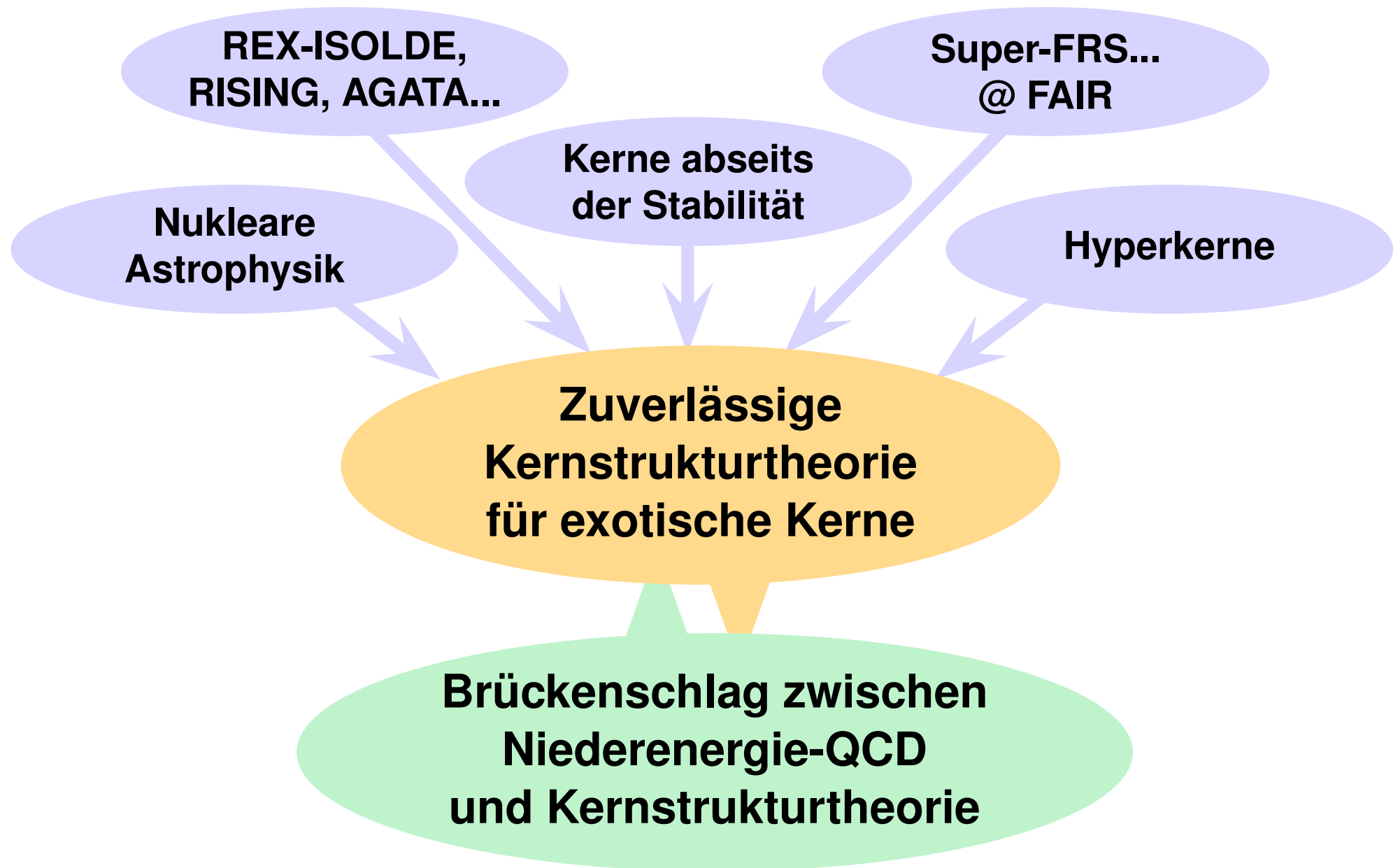
**Kerne abseits
der Stabilität**

Hyperkerne

Aktuelle Herausforderungen



Aktuelle Herausforderungen



Moderne Kernstrukturtheorie

Kernstruktur

ab initio
Methoden

Vielteilchen-
modelle

effektive Wech-
selwirkungen

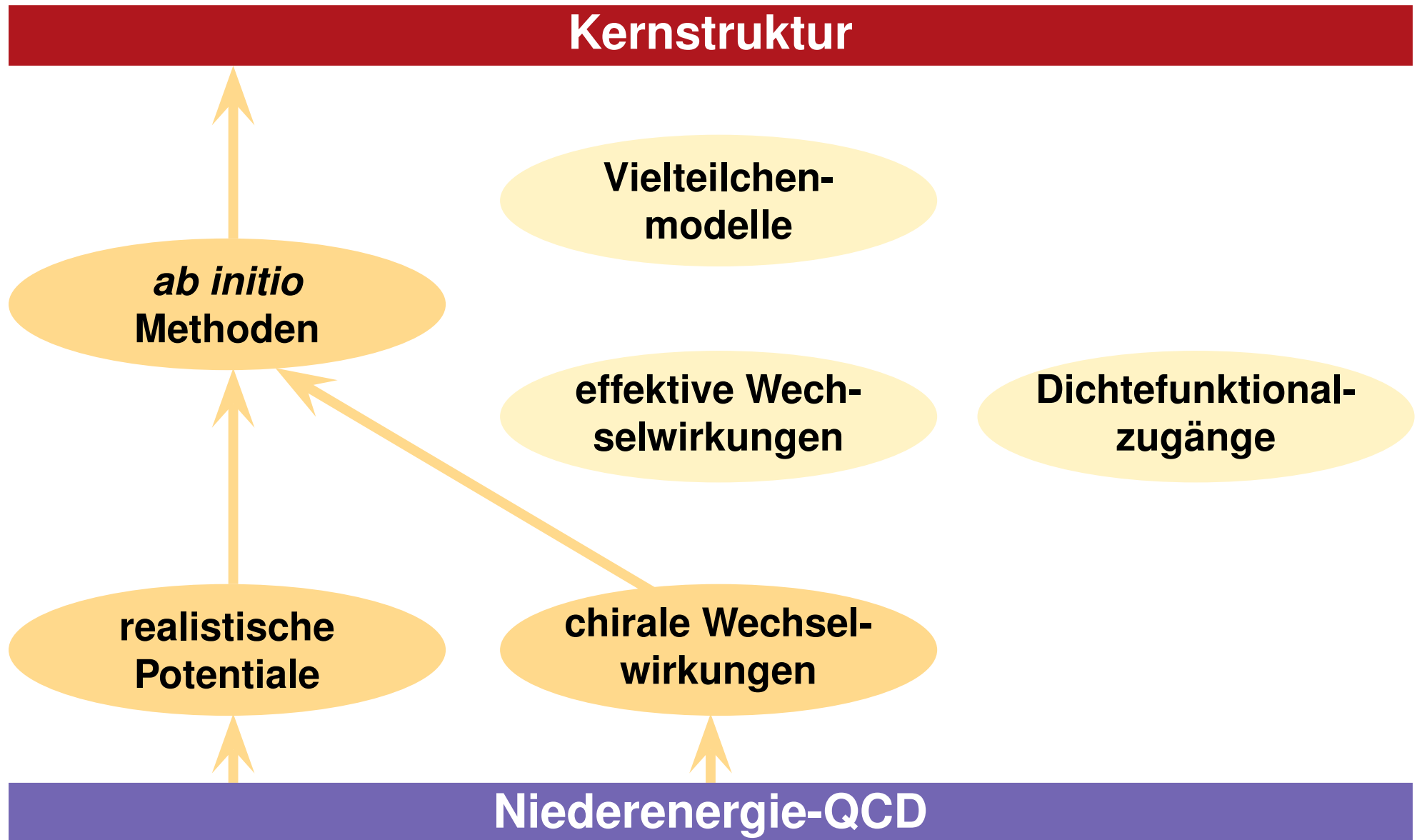
Dichtefunktional-
zugänge

realistische
Potentiale

chirale Wechsel-
wirkungen

Niederenergie-QCD

Moderne Kernstrukturtheorie



Realistische Wechselwirkungen

■ NN-Potential

- QCD motiviert: Mesonenaustauschbild
- Phänomenologie: kurzreichweitiges Verhalten
- exp. Zweinukleondaten (Streuphasen & Deuteron) mit hoher Genauigkeit reproduziert

Argonne V18

CD Bonn

Nijmegen I/II

Realistische Wechselwirkungen

■ NN-Potential

- QCD motiviert: Mesonenaustauschbild
- Phänomenologie: kurzreichweitiges Verhalten
- exp. Zweinukleondaten (Streuphasen & Deuteron) mit hoher Genauigkeit reproduziert

Argonne V18

CD Bonn

Nijmegen I/II

■ NNN-Potential

- Phänomenologische Ergänzung des Zweiteilchenpotentials
- Einfachste Drei-Nukleonen-Prozesse
- Anpassung an Bindungs- & Anregungsenergien leichter Kerne

Argonne V18 +
Illinois 2

CD Bonn +
Tuscon
Melbourne

Chirale Wechselwirkungen

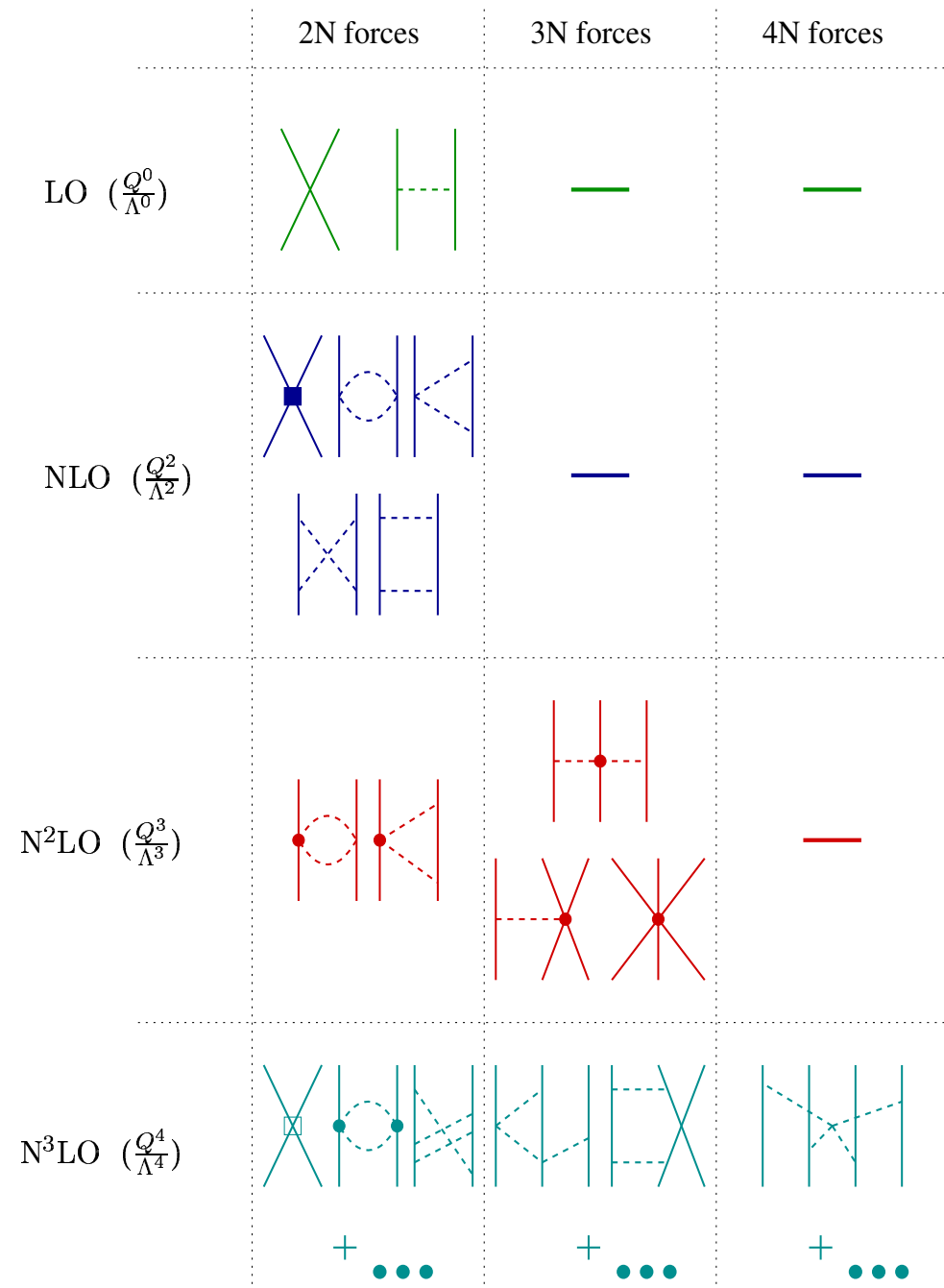
- chirale effektive Feldtheorie für (π, N) -System
- langreichweitige Pionen-Dynamik explizit behandelt
- kurzreichweitige Dynamik in Kontakttermen absorbiert
- Niederenergiekonstanten angepaßt an experimentelle Daten $(NN, \pi N, \dots)$
- konsistente Ableitung von NN- & NNN-Wechselwirkungen (inkl. elektromag. Ströme)

U.-G. Meißner
W. Glöckle
A. Nogga...

Chirale Wechselwirkungen

- chirale effektive Feldtheorie für (π, N) -System
- langreichweitige Pionen-Dynamik explizit behandelt
- kurzreichweitige Dynamik in Kontakttermen absorbiert
- Niederenergiekonstanten angepaßt an experimentelle Daten $(NN, \pi N, \dots)$
- konsistente Ableitung von NN- & NNN-Wechselwirkungen (inkl. elektromag. Ströme)

U.-G. Meißner
W. Glöckle
A. Nogga...



exakte Lösung des quantenmechanischen Vielteilchenproblems mit realistischen Wechselwirkungen

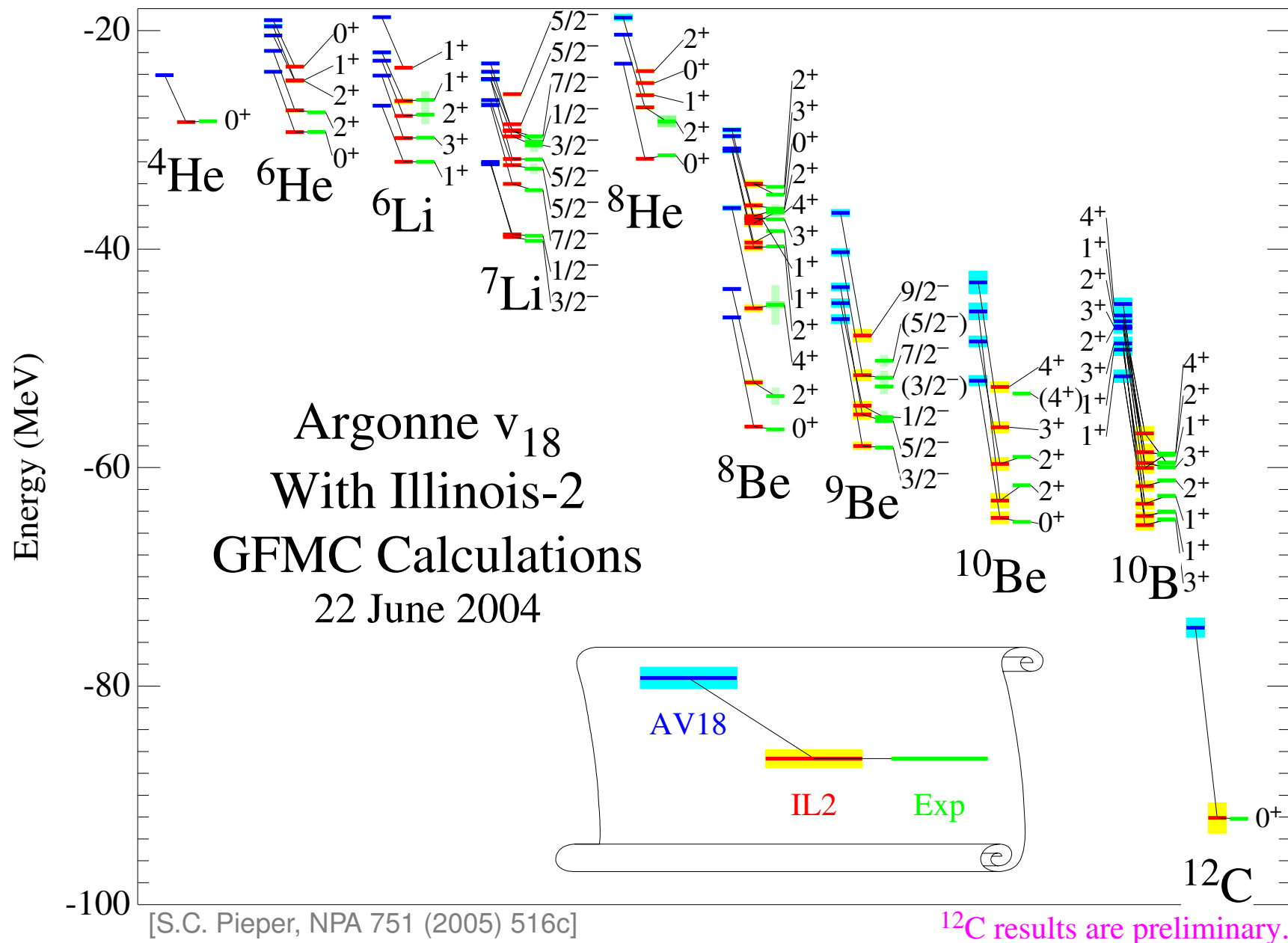
■ **Quanten-Monte-Carlo-Methoden**

- Variational Monte Carlo: Energieminimierung mit Vielteilchen-Versuchswellenfunktion
- Green's Function Monte Carlo: Propagation in imaginärer Zeit

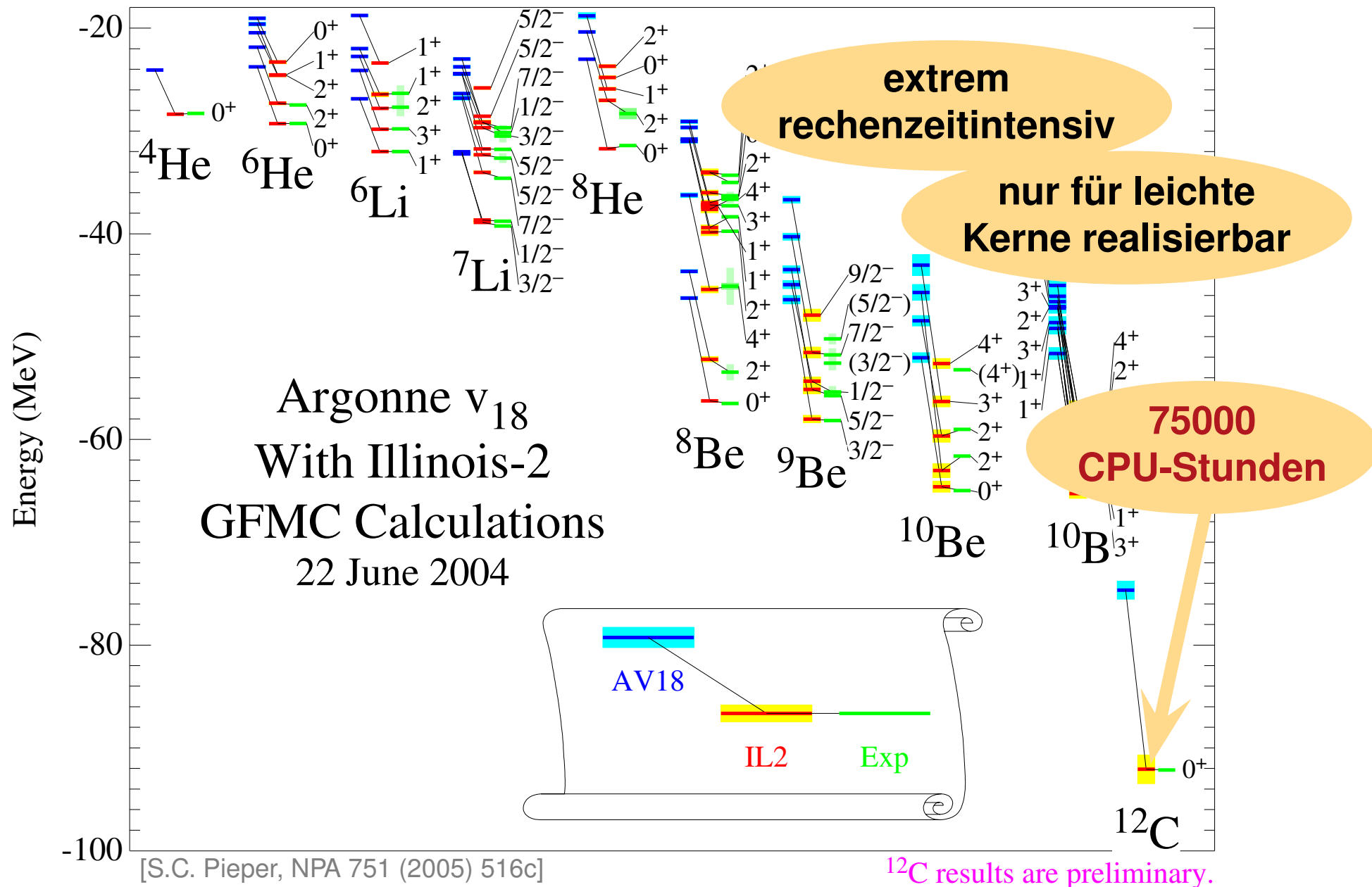
■ **No-Core Schalenmodell**

- großskalige Schalenmodell-Diagonalisierung & Lee-Suzuki-Transformation

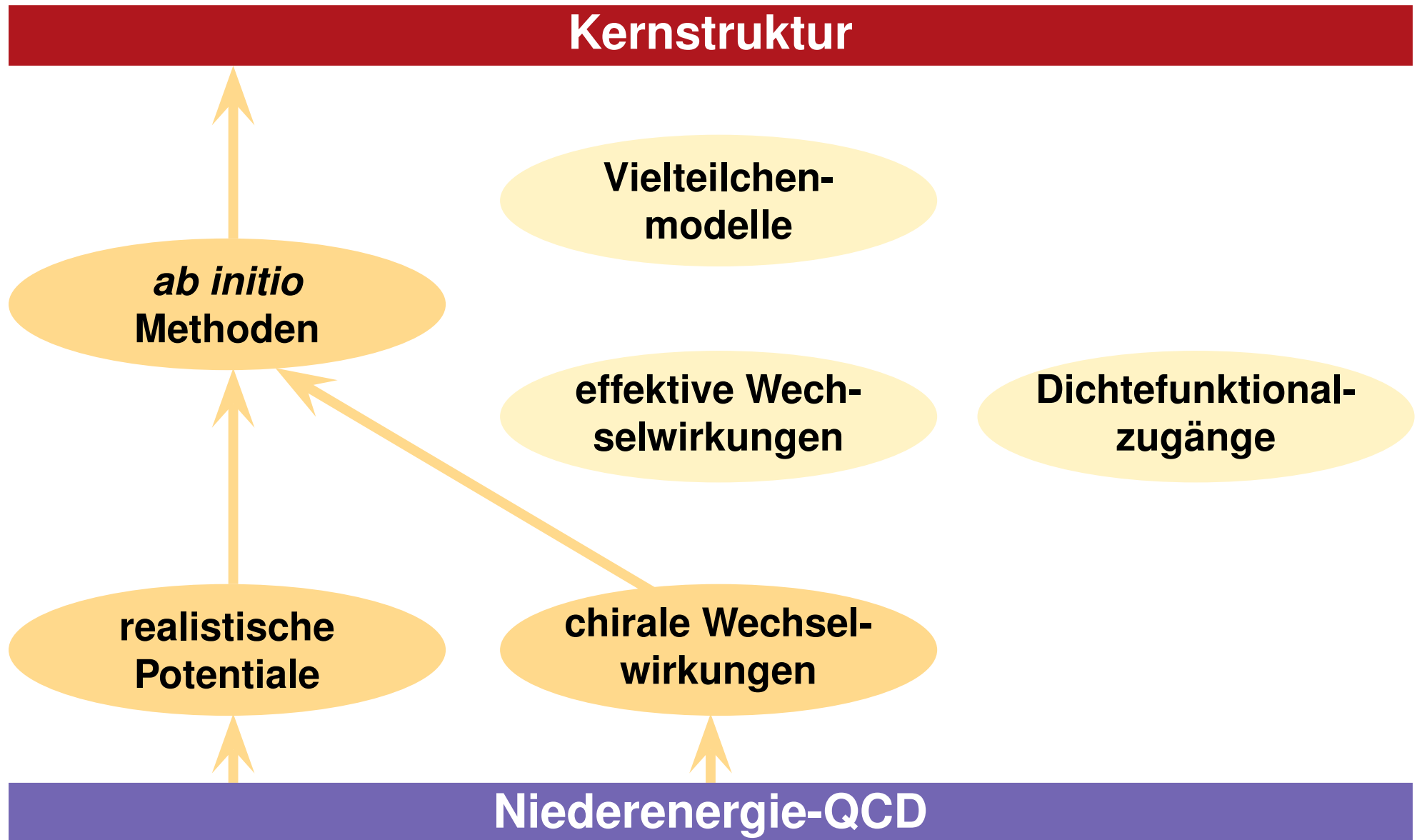
Green's Function Monte Carlo



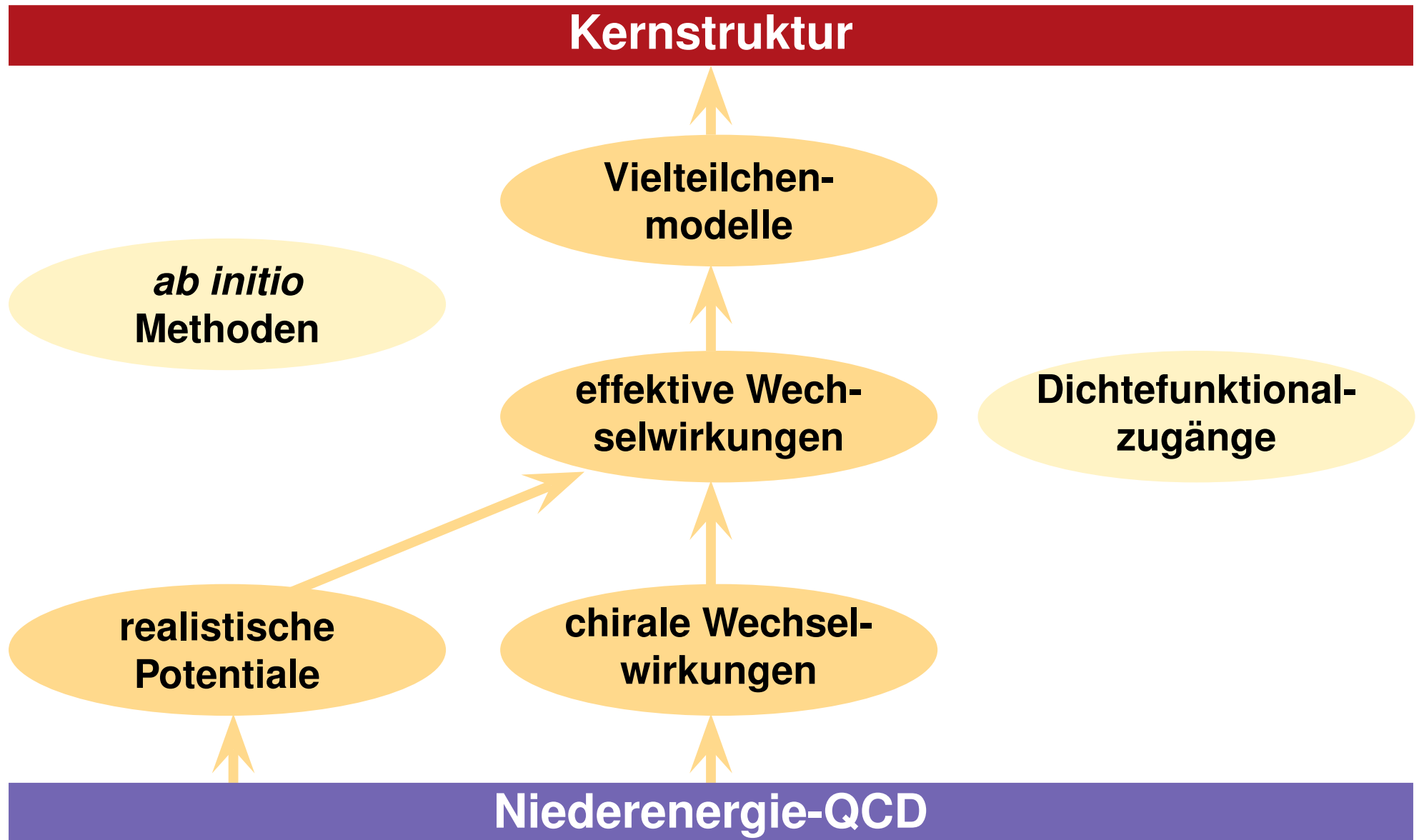
Green's Function Monte Carlo



Moderne Kernstrukturtheorie



Moderne Kernstrukturtheorie



Anpassung der Ww. an eingeschränkte Hilberträume durch streuphasenerhaltende Transformation

- **Niederimpuls-Wechselwirkung** — V_{lowk}
 - Renormierungsgruppenreduktion auf Niederimpuls-Ww. & Entkopplung der Beiträge zu hohen Impulsen
- **Unitär korrelierte Wechselwirkung** — V_{UCOM}
 - unitäre Transformation zur expliziten Beschreibung kurzreichweitiger Zentral- und Tensor Korrelationen
 - zustands- & basisunabhängige Operator Darstellung

A. Nogga
H. Mütter
J. Wambach

H. Feldmeier
T. Neff
R. Roth

Lösung des Vielteilchenproblems in eingeschränktem Hilbertraum mit effektiven Wechselwirkungen

■ **Hartree-Fock, RPA, Schalenmodell etc.**

- streuphasenäquiv. effektive Wechselwirkungen als universelle Basis

K. Langanke
H. Mütter
H. Lenske
J. Wambach
R. Roth

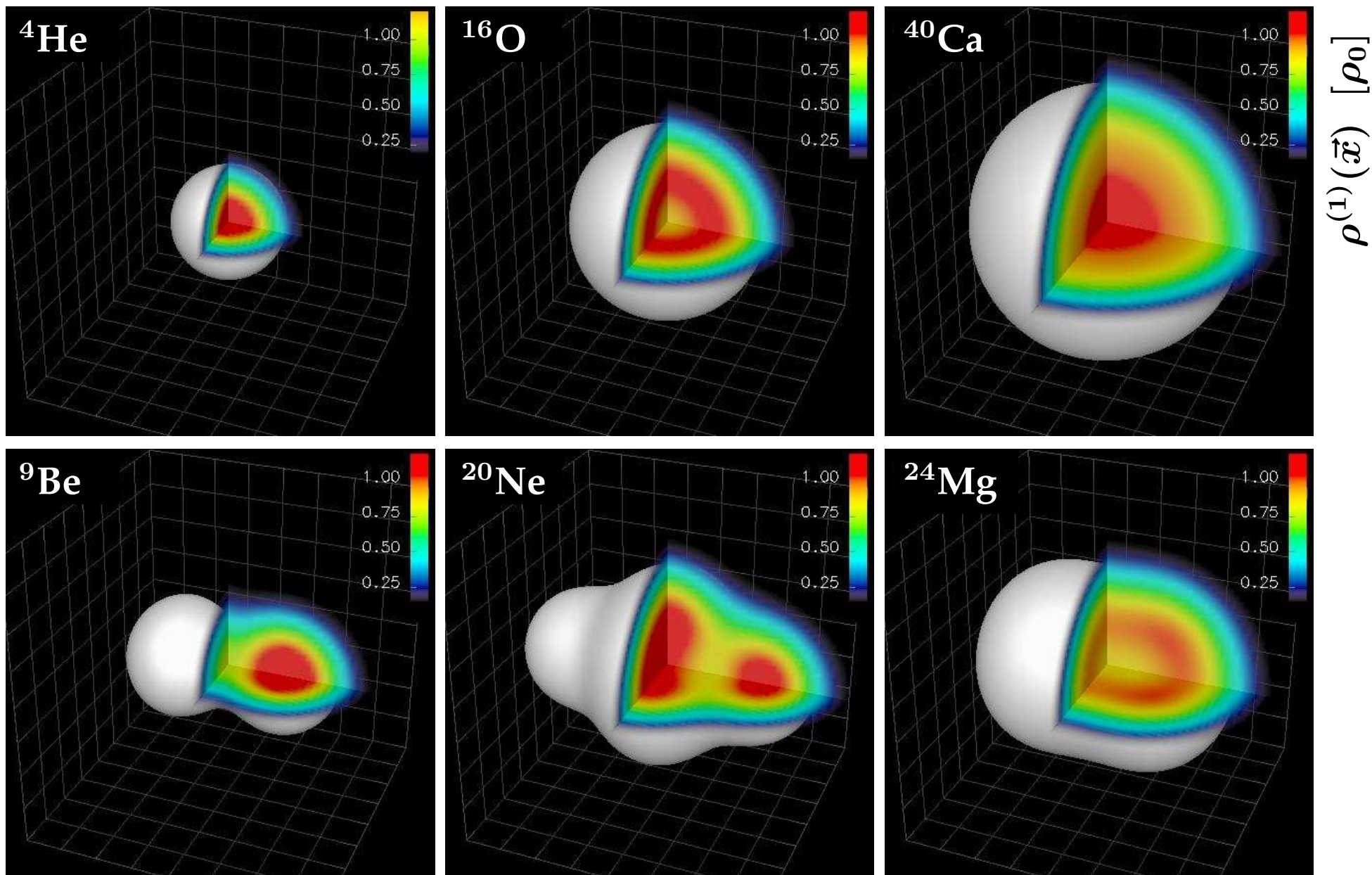
...

■ **Fermionische Molekulardynamik (FMD)**

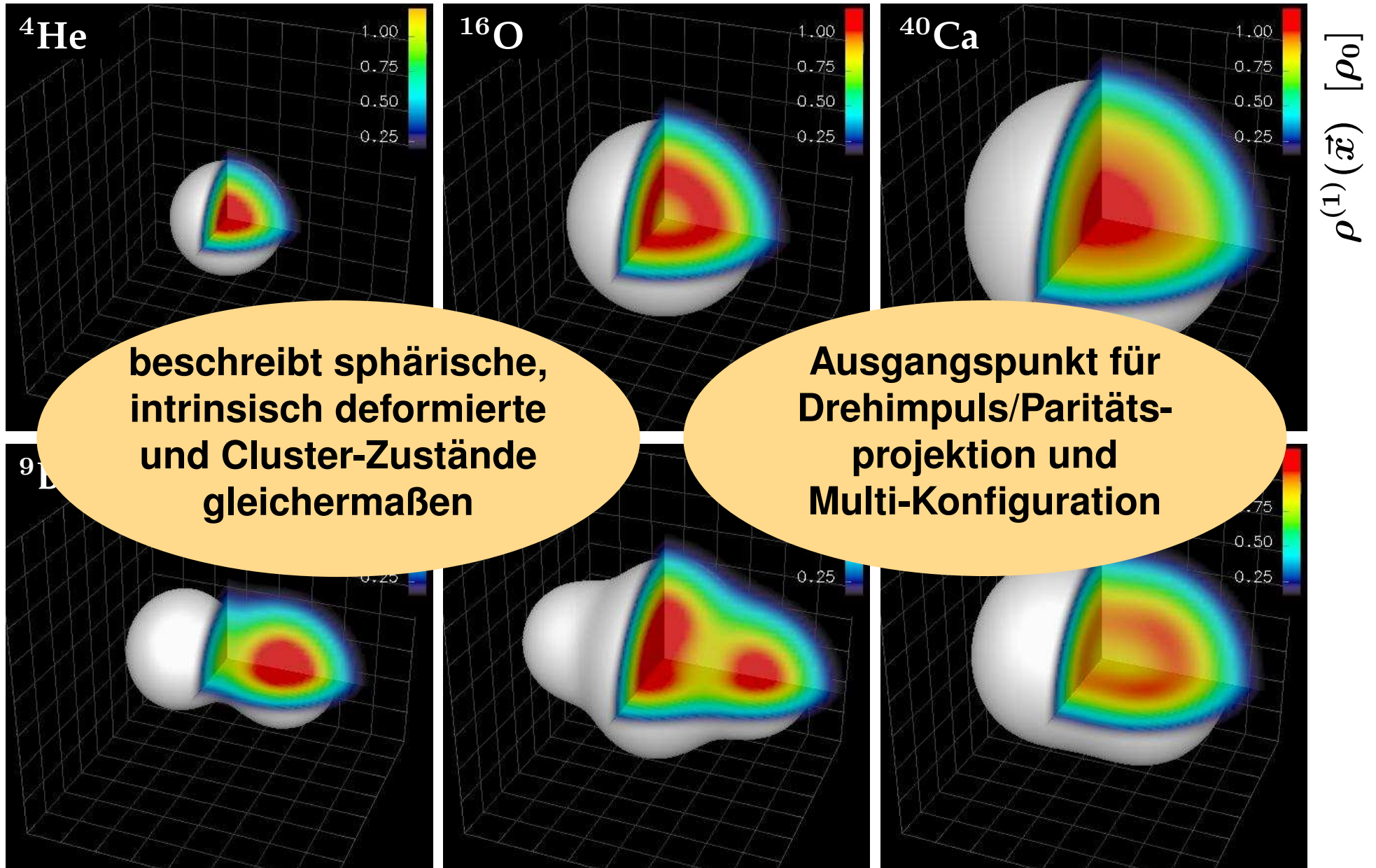
- nicht-orthogonale gaußsche Basis (sphärische Zustände, intrinsische Deformation, Cluster)
- Variation, Projektion, Multi-Konfiguration

H. Feldmeier
T. Neff
R. Roth

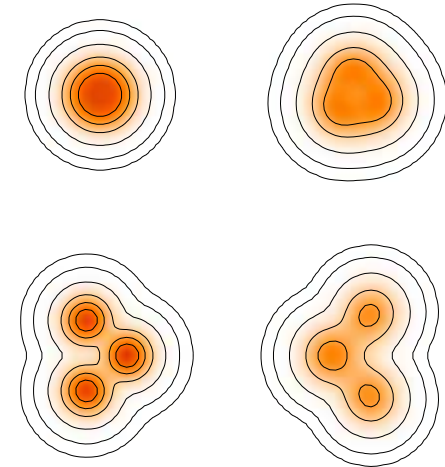
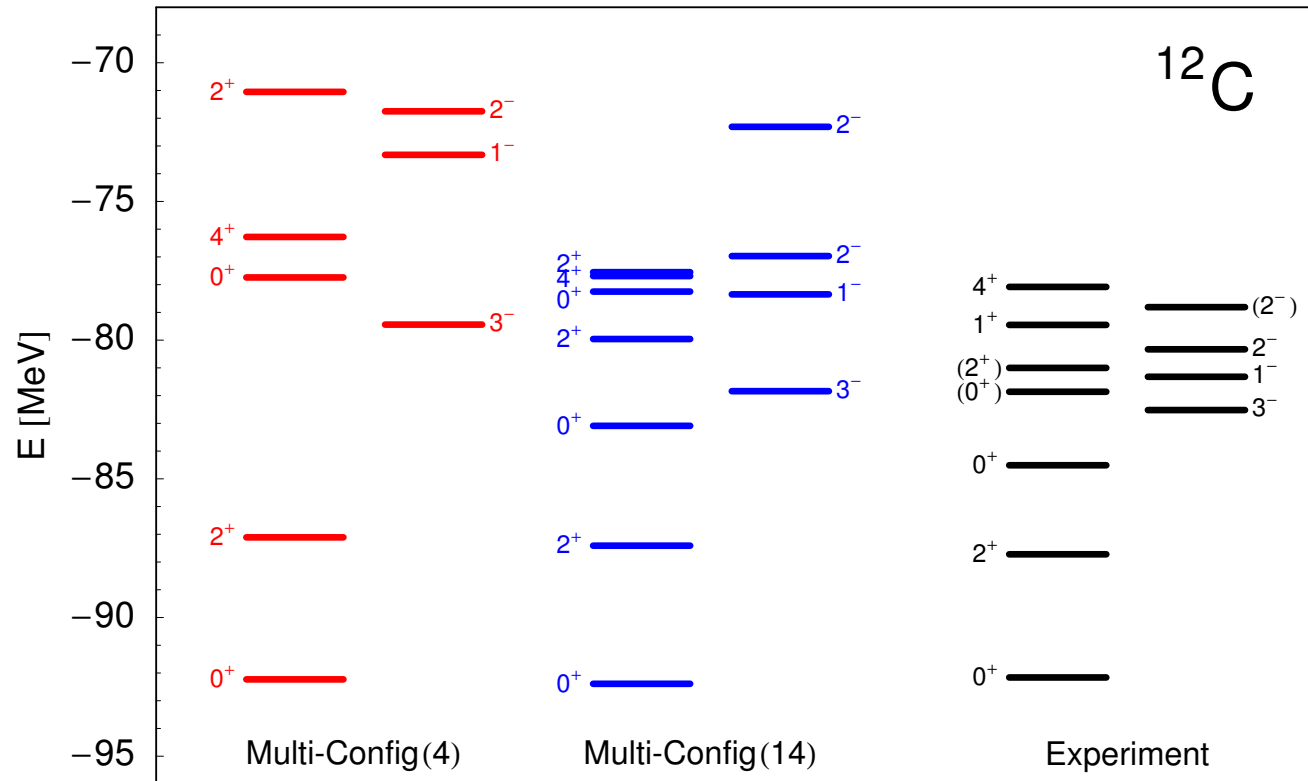
FMD: Intrinsische Dichteverteilungen



FMD: Intrinsische Dichteverteilungen

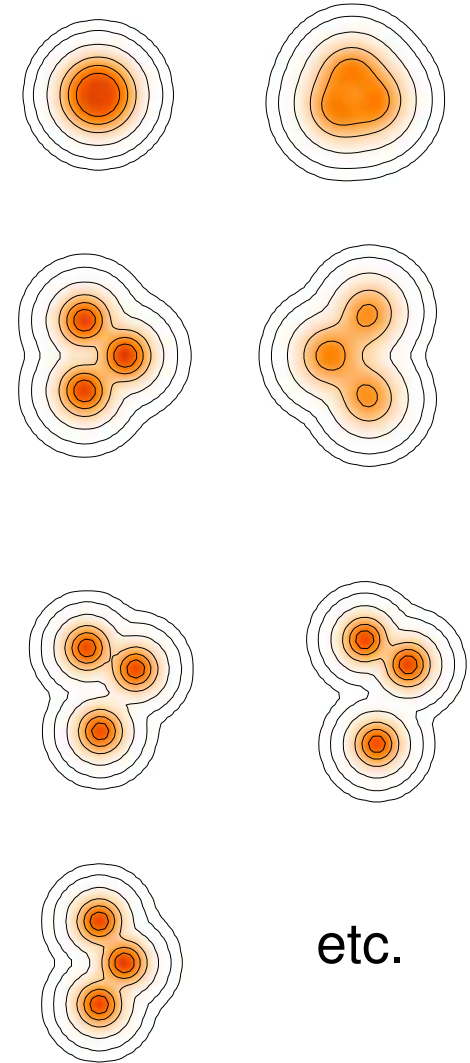
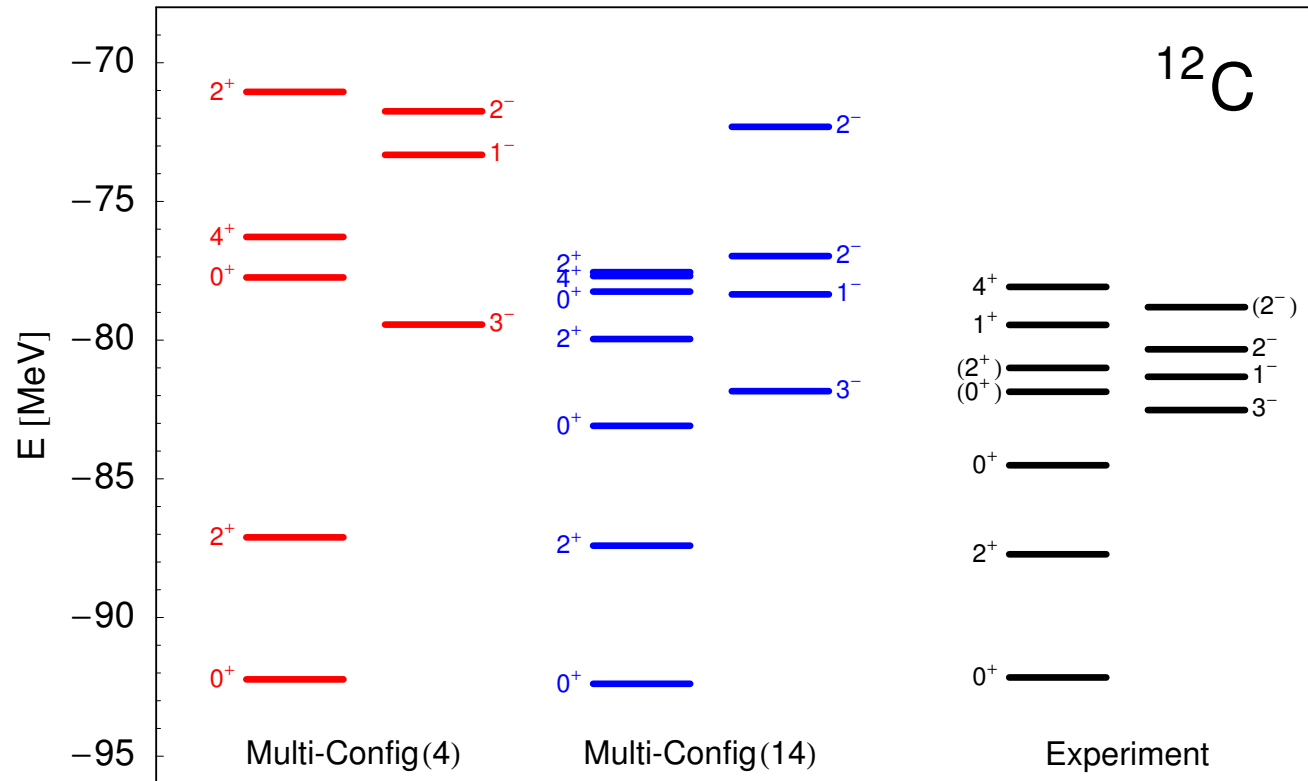


FMD: Struktur von ^{12}C



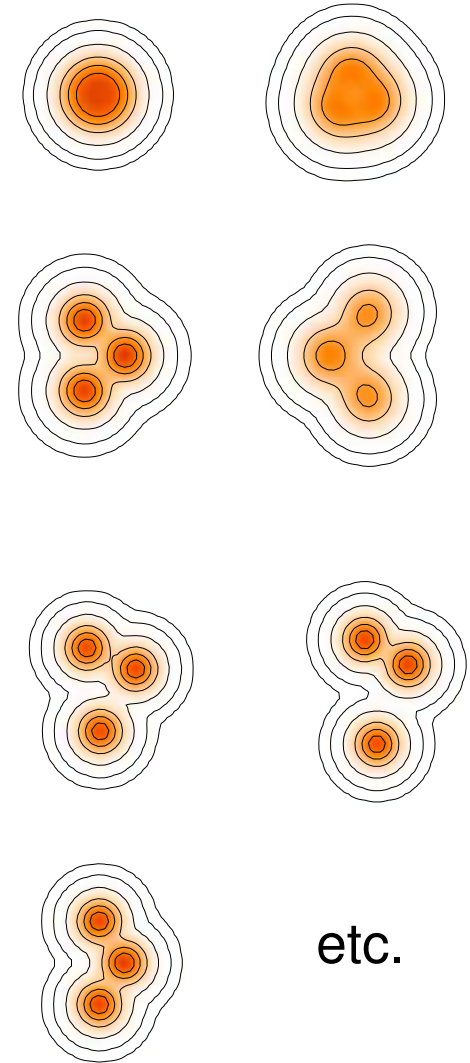
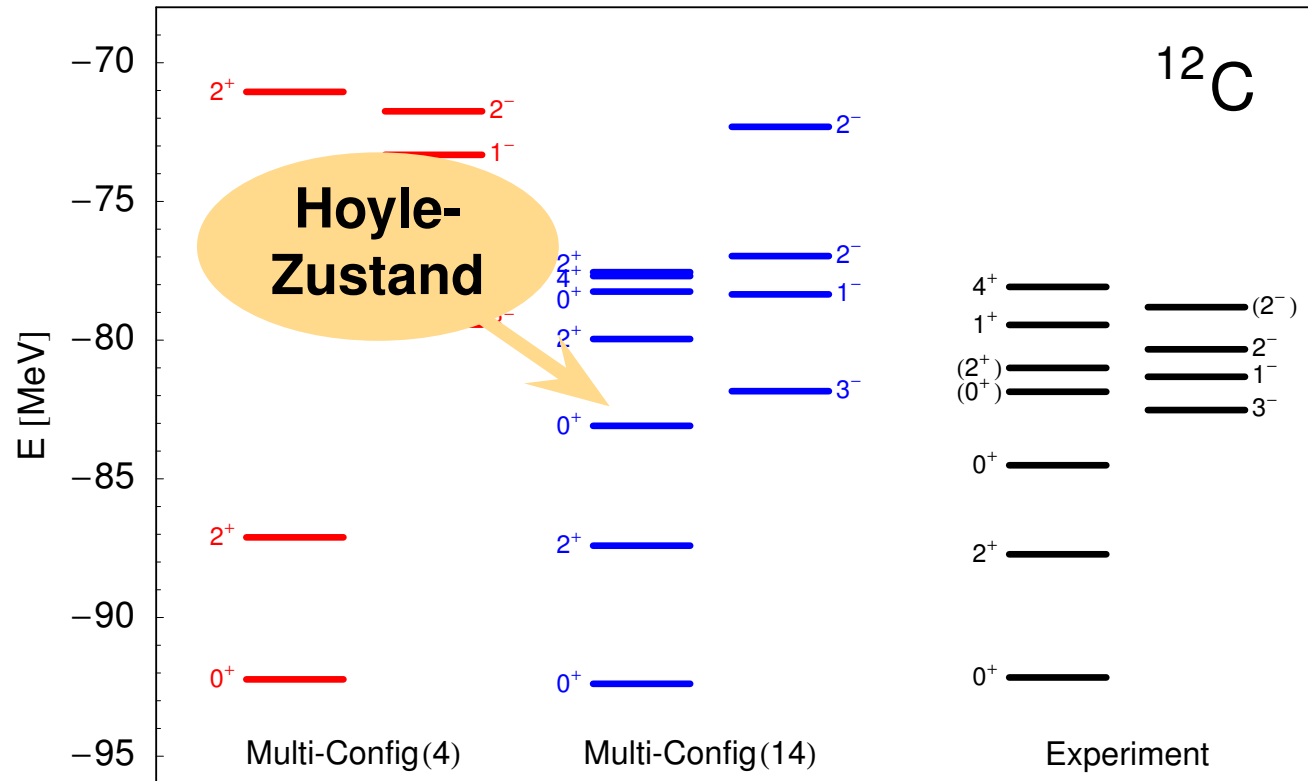
	Multi-Config	Experiment
E [MeV]	92.4	92.2
R_{ch} [fm]	2.52	2.47
$B(E2, 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ [$e^2 \text{fm}^4$]	42.9	39.7 ± 3.3
$M(E0, 0_1^+ \rightarrow 0_2^+)$ [fm^2]	5.67	5.5 ± 0.2

FMD: Struktur von ^{12}C



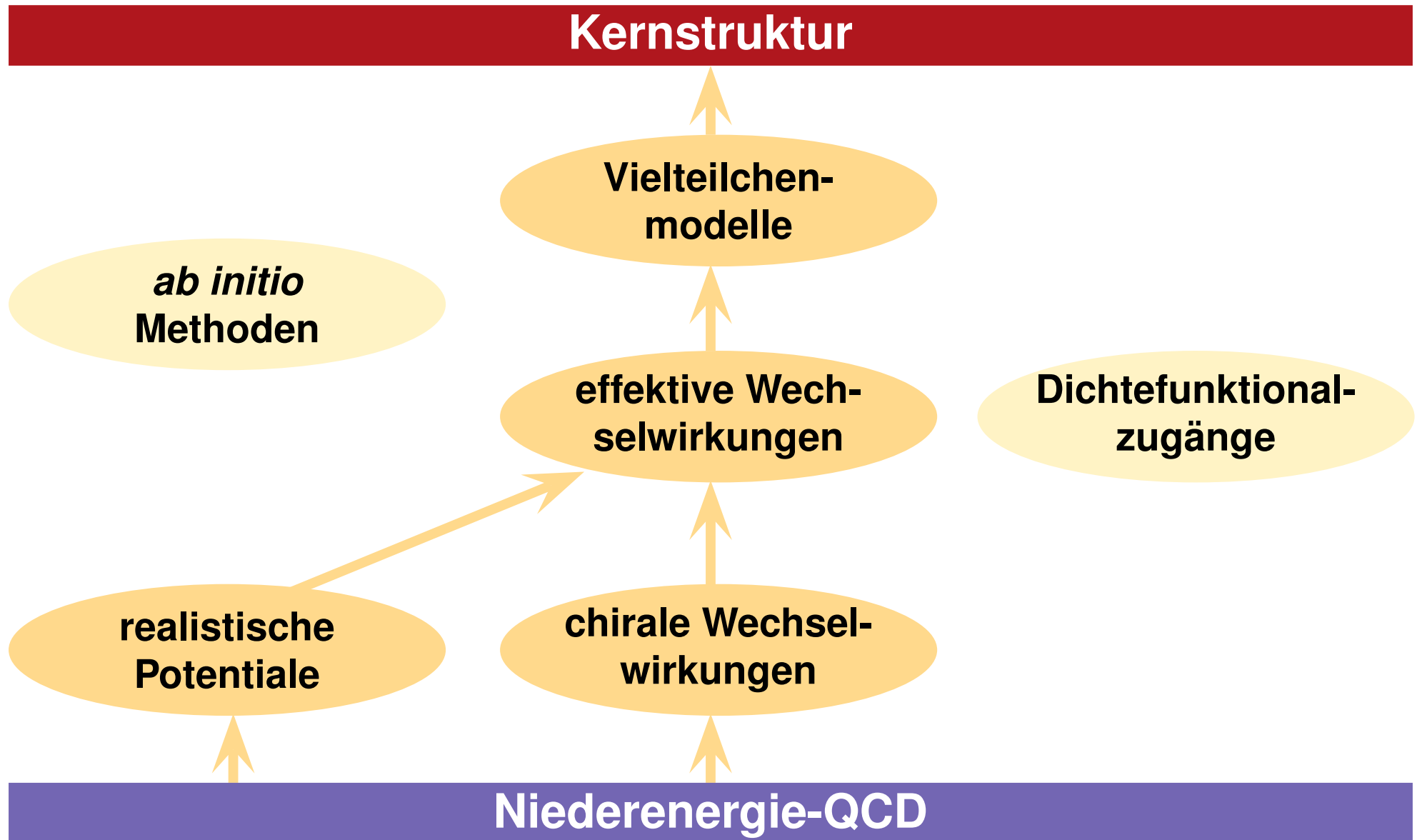
	Multi-Config	Experiment
E [MeV]	92.4	92.2
R_{ch} [fm]	2.52	2.47
$B(E2, 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ [$e^2 \text{fm}^4$]	42.9	39.7 ± 3.3
$M(E0, 0_1^+ \rightarrow 0_2^+)$ [fm^2]	5.67	5.5 ± 0.2

FMD: Struktur von ^{12}C

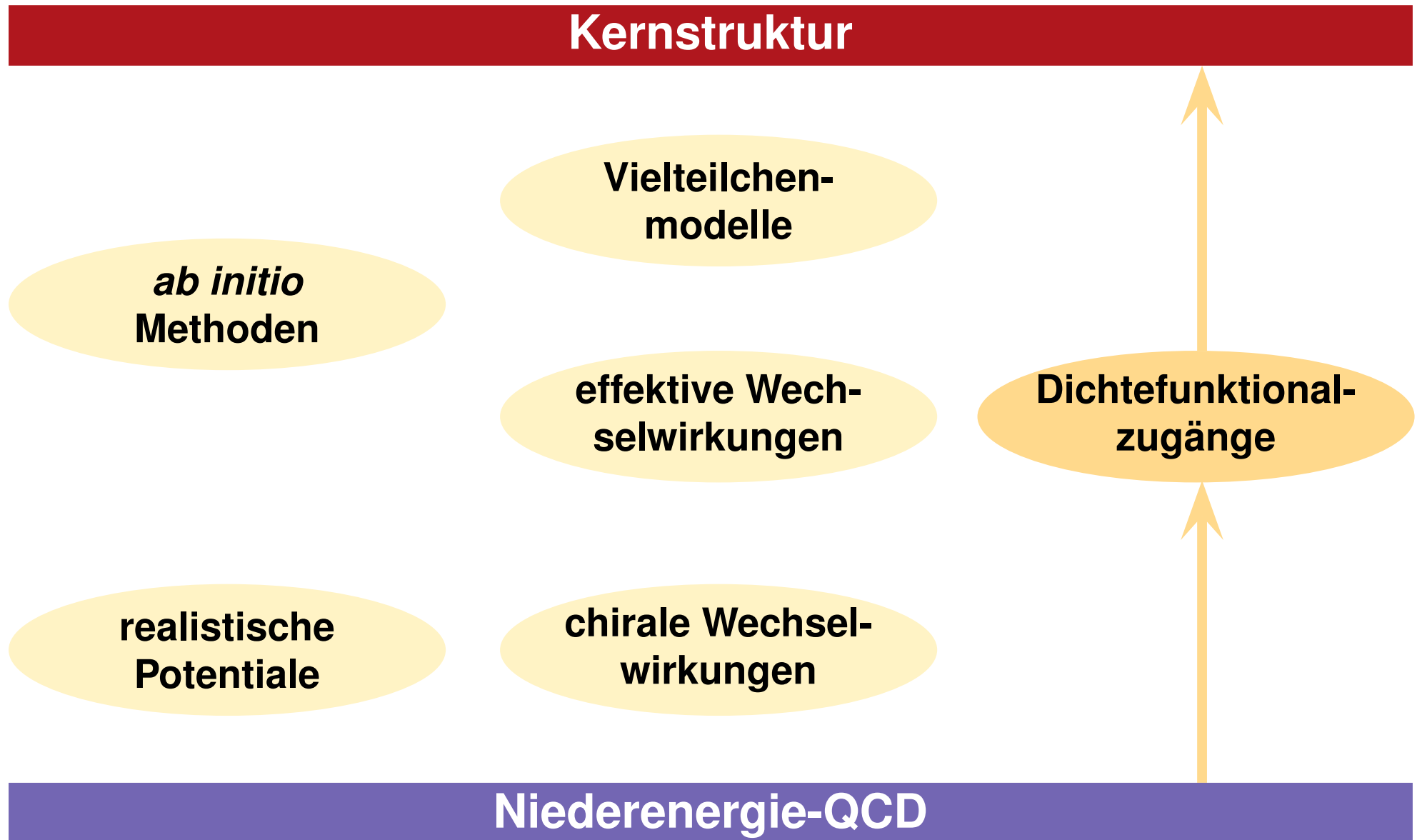


	Multi-Config	Experiment
E [MeV]	92.4	92.2
R_{ch} [fm]	2.52	2.47
$B(E2, 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$ [$e^2 \text{fm}^4$]	42.9	39.7 ± 3.3
$M(E0, 0_1^+ \rightarrow 0_2^+)$ [fm^2]	5.67	5.5 ± 0.2

Moderne Kernstrukturtheorie



Moderne Kernstrukturtheorie



Dichtefunktionalmethoden zur Beschreibung von Kernen auf Basis eines (phänom.) Energiefunktional

■ Relativistische Mean-Field-Modelle

- eff. Lagrangian mit verschiedenen Mesonenbeiträgen & dichteabhängiger Kopplung
- Parameter angepaßt an experimentelle Daten oder unabhängige Kernmaterierechnungen

P. Ring
H. Lenske
H. Wolter
J. Maruhn
P.G. Reinhardt

...

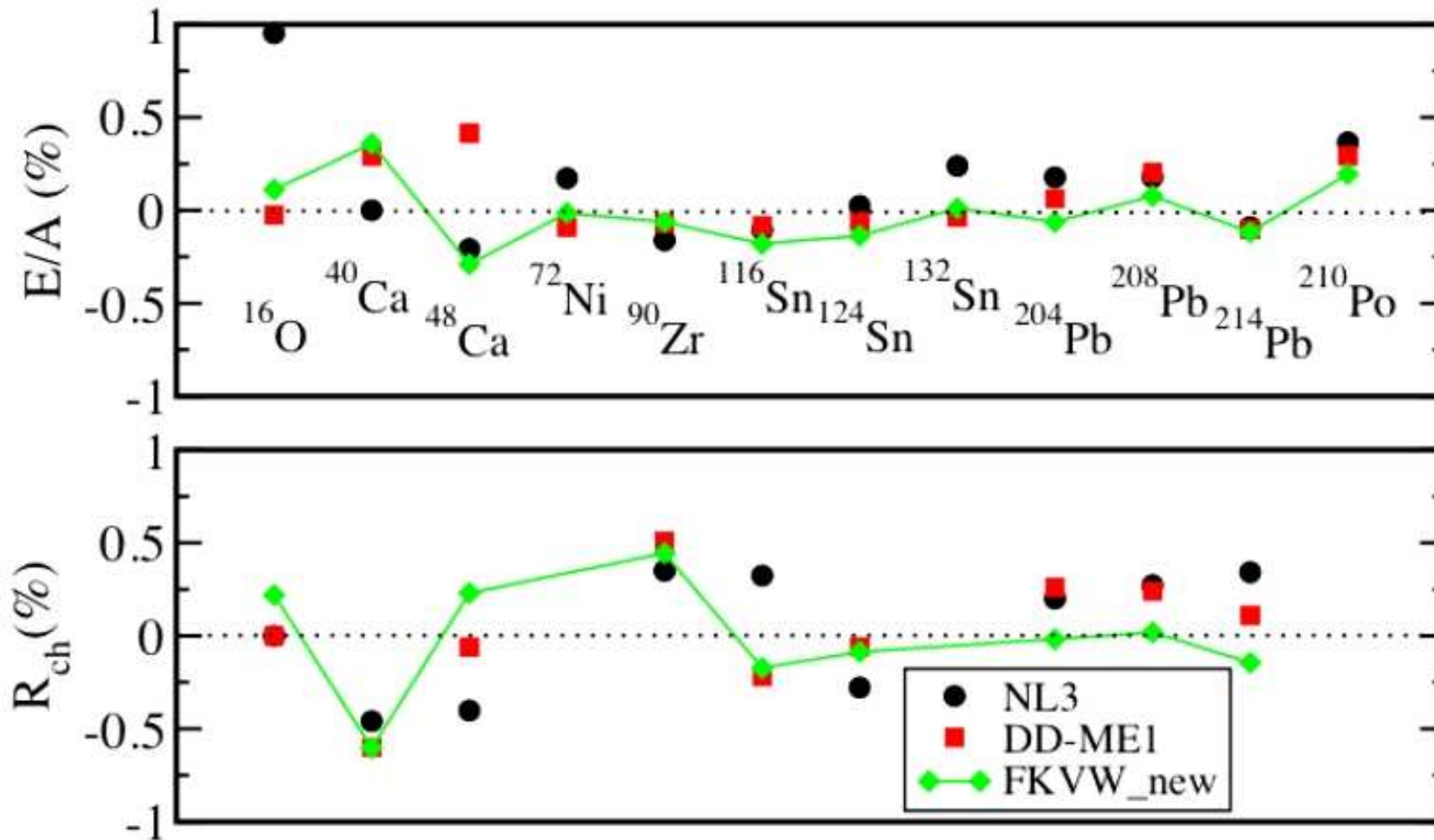
■ Chirale effektive Feldtheorie

- Energiefunktional konstruiert mittels chiraler effektiver Feldtheorie & QCD Summenregeln

W. Weise
N. Kaiser
U.-G. Meißner

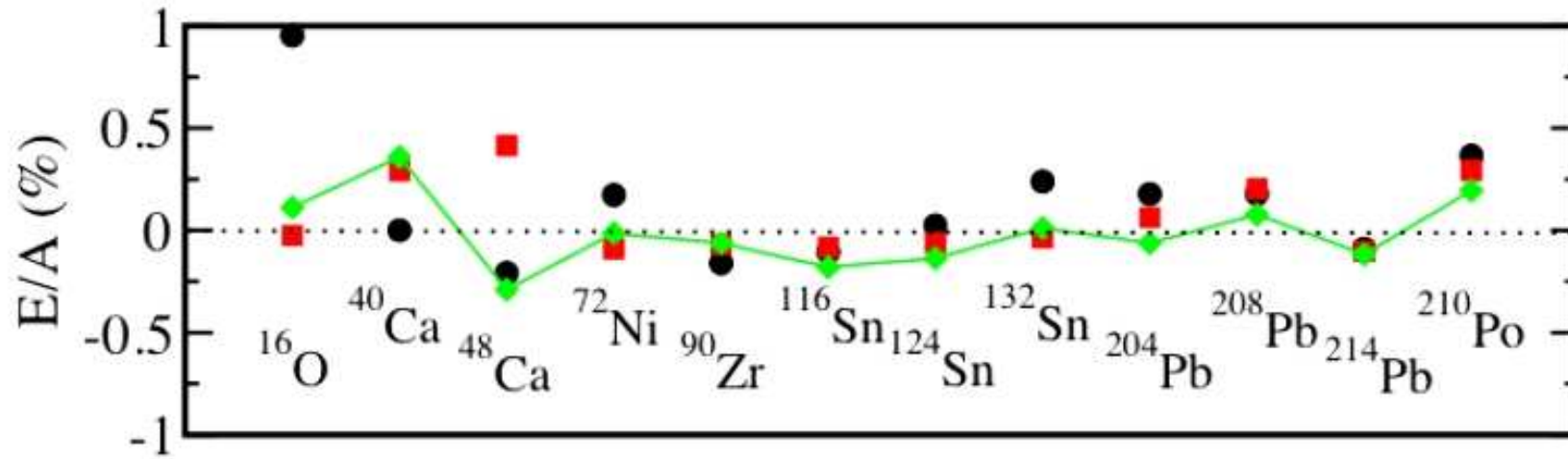
...

Chirale effektive Feldtheorie

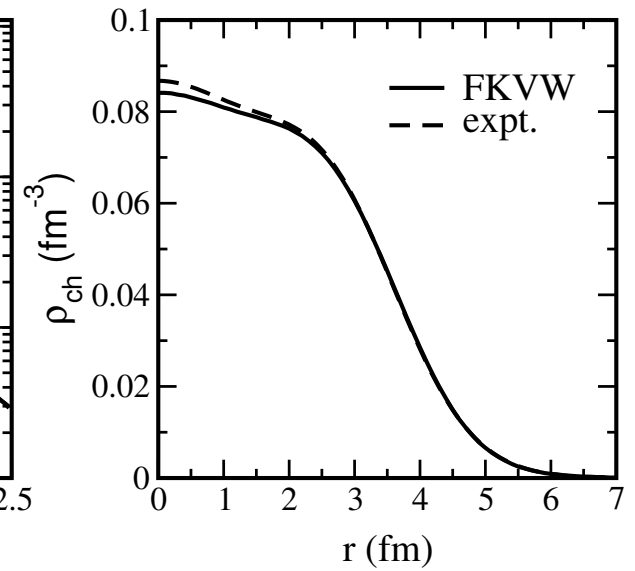
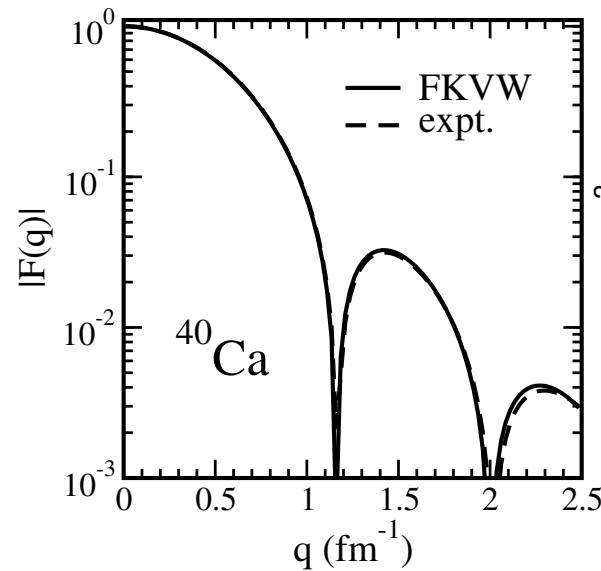
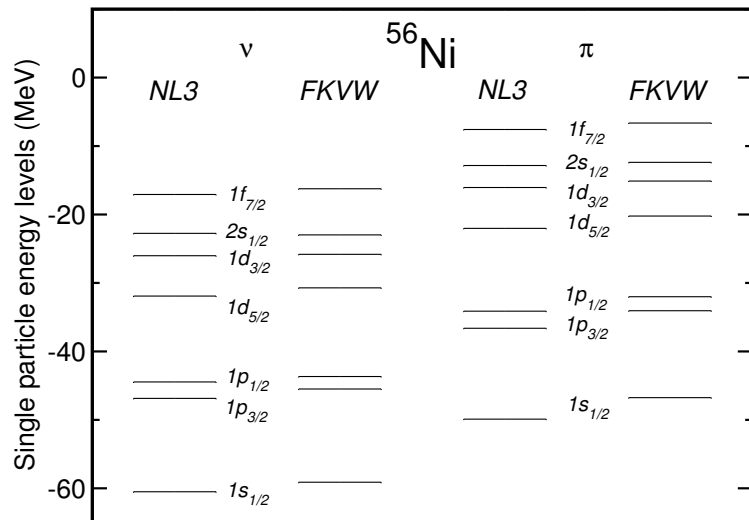


[Finelli, Kaiser, Vretenar, Weise
NPA 735 (2004) 449 & priv. comm.]

Chirale effektive Feldtheorie



[Finelli, Kaiser, Vretenar, Weise
NPA 735 (2004) 449 & priv. comm.]



- **Weiterentwicklung innovativer, zukunftsweisender Konzepte der Kernstrukturtheorie:**
 - chirale Wechselwirkungen (NN + NNN)
 - effektive streuphasenäquivalente Ww. ($V_{\text{low}k}$, V_{UCOM})
 - vielseitige Vielteilchenmodelle (FMD, ...)
 - Energiefunktionale aus (chiralen) effektiven Feldtheorien
- **Anwendung auf Kerne abseits der Stabilität, Hyperkerne, astrophysikalische Reaktionen, ...**
- **Aufregende Zeiten für die Kernstrukturtheorie!**