# Untersuchung der dynamischen und der geometrischen Phase des Stark-Zeeman-Effekts der Hyperfeinstruktur von Einelektronenatomen ($^6Li$)


## Th. Heubrandtner[1)], E. Rössl[2)]
## <u>B. Schnizer</u>

**Institut für Theoretische Physik und Computational.Physics, TU Graz**
**http://www.itp.tu-graz.ac.at/~schnizer/Th_Atomic_Spectroscopy/**

## M. Musso

**Abteilung für Physik und Biophysik, Fachbereich Molekulare Biologie, Universität Salzburg**

1) jetzt: Magna Steyr, Graz
2) jetzt: Philips Forschungslaboratorien, Technische Systeme Hamburg



ÖPG Jahrestagung 2005, FAKT1, Blatt 1

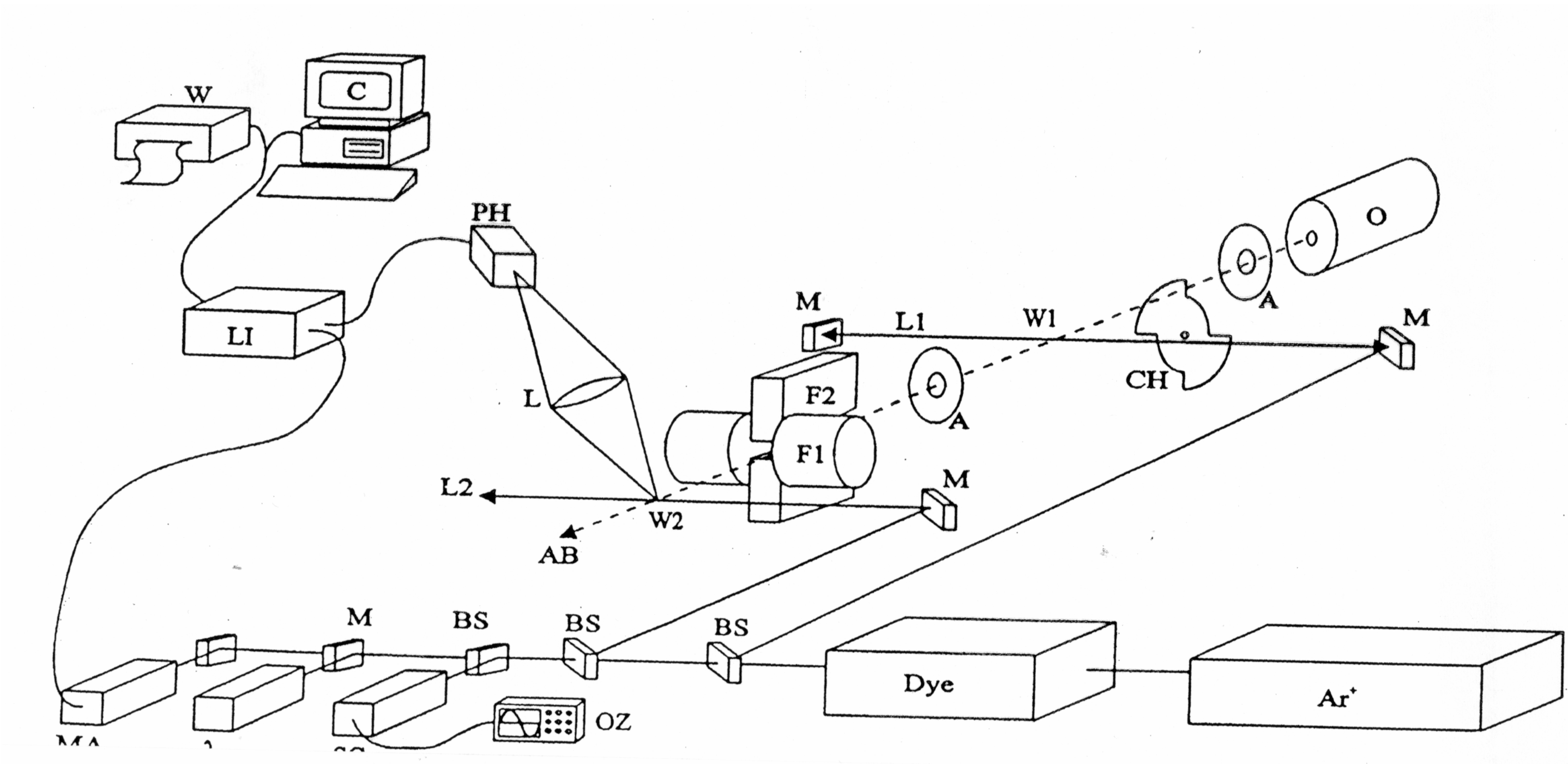
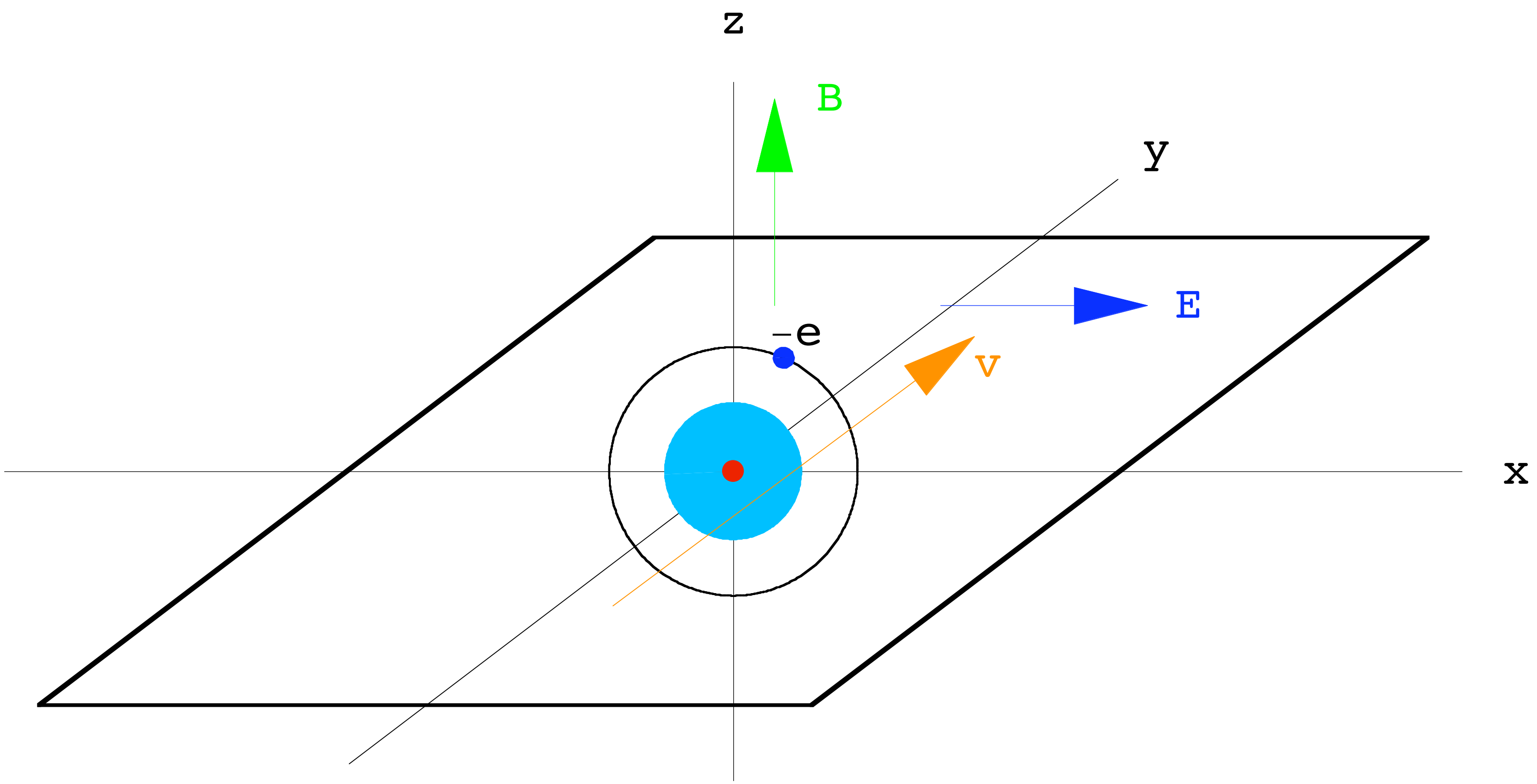
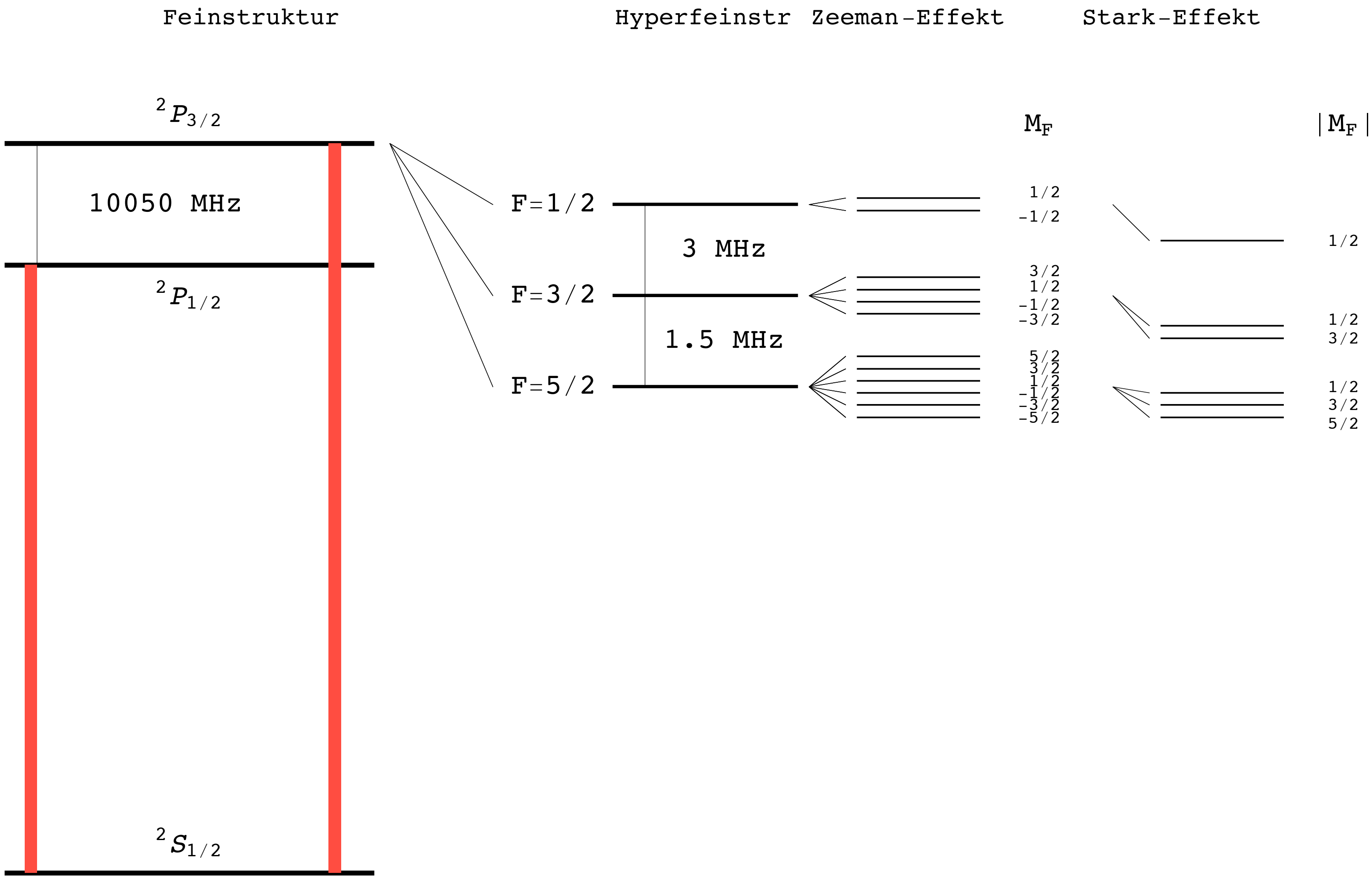



Figure 1: Versuchsaufbau zur Untersuchung der Wirkung hintereinander - geschalteter, gekreuzter elektrischer und magnetischer Felder auf die Besetzungsdichte der Hyperfeinstruktur von Gallium




# Das Atom in äußeren zeitabhängigen Feldern

**ÖPG Jahrestagung 2005, FAKT1, Blatt 3**




# Niveauschema von 6Li

# $^6$Li

**Gesamdrehimpuls des Elektrons**:

$J = L + S = 1 + 1/2 = 3/2$ $\quad$ ($2\ ^2P_{3/2}$,
$2\ ^2P_{1/2}$vernachlässigt)

**Kernspin**

$$I = 1$$

**Gesamdrehimpuls des Atoms**:

$$\begin{aligned} F &= J + I = 3/2 + 1 = 5/2,\ 3/2,\ 1/2. \\ M_F &= -F, -F+1, ..., F \end{aligned}$$

12 Zustände.

Wegen Spiegelungssymmetrie spalten diese auf in 2 unabhängige Systeme mit je 6 Zuständen, **positives und negatives System.**

**Zeitabhängige Schrödingergleichung:**

$$\frac{i}{2\pi}\frac{\partial\Psi_n}{\partial t} = H_p(B(t), E(t))\ \Psi_n(t)$$

$$H_p(B, E) = H_{hfs} + H_{mag}(B) + H_{el}(E^2)$$

**Adiabatische (quasistatische Näherung):**

$B, E =$ konstante äußere Parameter.

$$H_p(B, E)\ \psi_n(B, E) = \epsilon_n(B, E)\ \psi_n(B, E)$$

$$\Psi_n(t) \approx \psi_n\ e^{-i\epsilon_n t}$$

$$[\epsilon_n] = \text{MHz}, \quad [t] = \mu sec$$

**Analytische Fortsetzung** von $\epsilon_n(B, E)$ u. $\psi_n(B, E)$

Kette von stationären Zuständen bei kontinuierlicher Veränderung von $B$ und $E$ :

$$\psi_n(B(\tau), E(\tau)) = \sum_j c_{nj}(B(\tau), E(\tau))\ \psi_n(B(0), E(0))$$

**Zyklische Feldveränderung**: $\quad 0 \leq \tau \leq T$ :

$B(T) = B(0), \ \ E(T) = E(0).$

$$\tau = 0 : \ \ c_{nj} = \delta_{nj};$$

$$\tau = T :$$

$$\psi_n(B(T), E(T)) = \underbrace{c_n(B(T), E(T)}_{= \pm 1}\ \psi_n(B(0), E(0)).$$

$H_p =$ reell $\Rightarrow$ $c_{nj} =$ reell, $\psi_n(B, E) =$ reell.

-1 ist **geometrische Phase.**

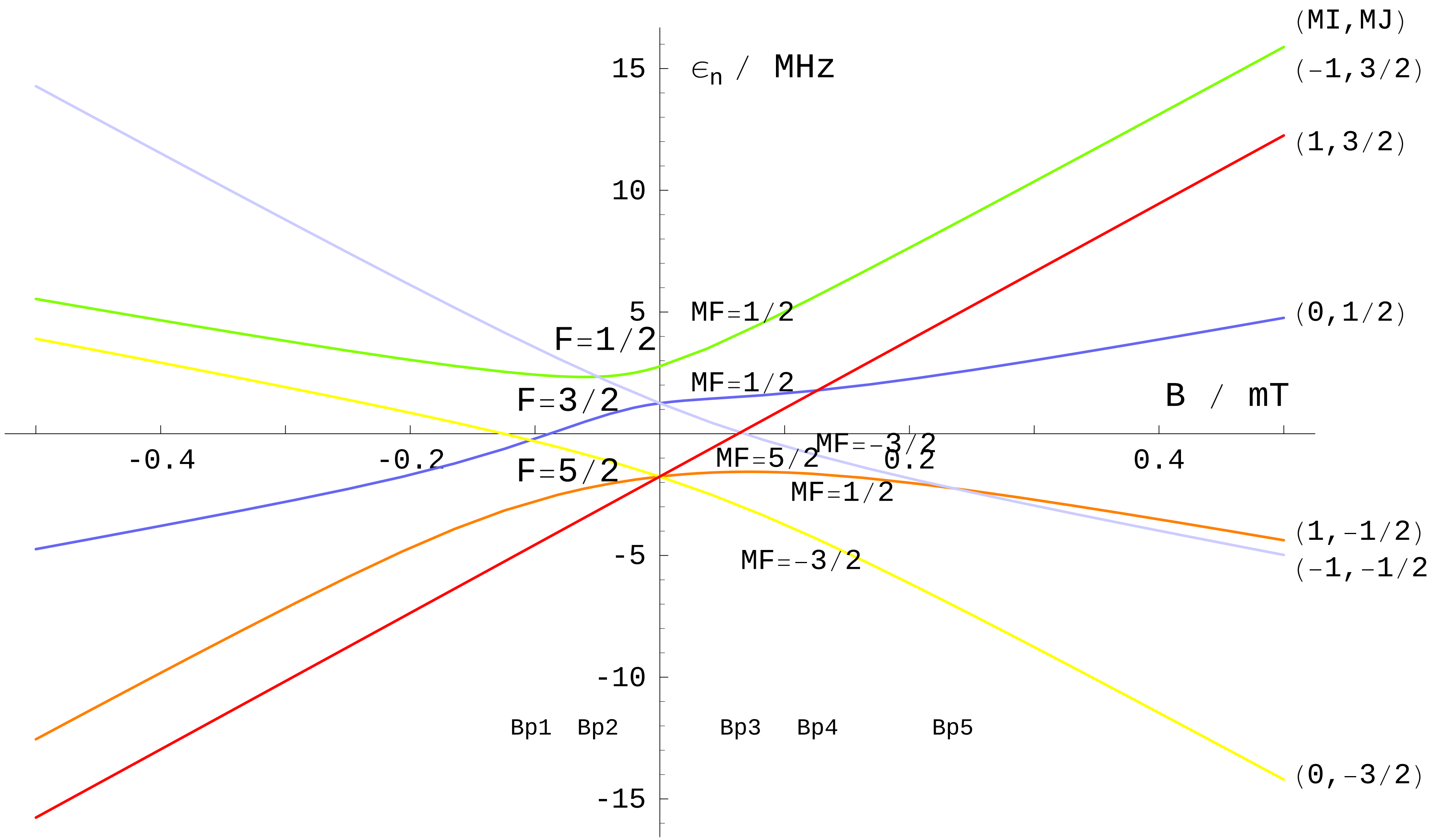



Figure 2: Zeeman-Effekt des positiven Systems von $^6$Li.
5 Kreuzungspunkte Bp1, ..., Bp5 .

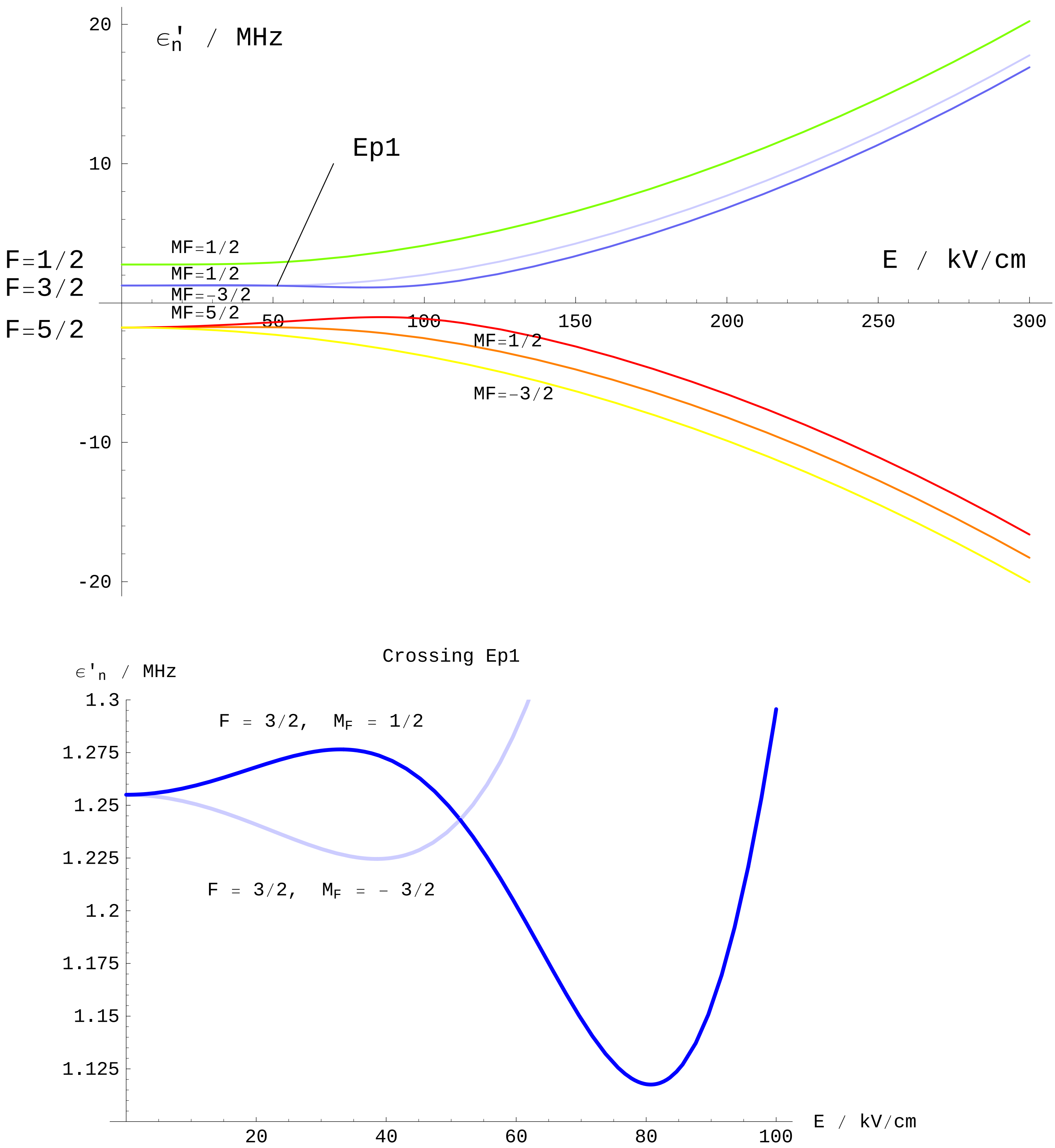



Figure 2: Stark-Effekt des positiven Systems von $^6$Li.
1 Kreuzungspunkte Ep1.

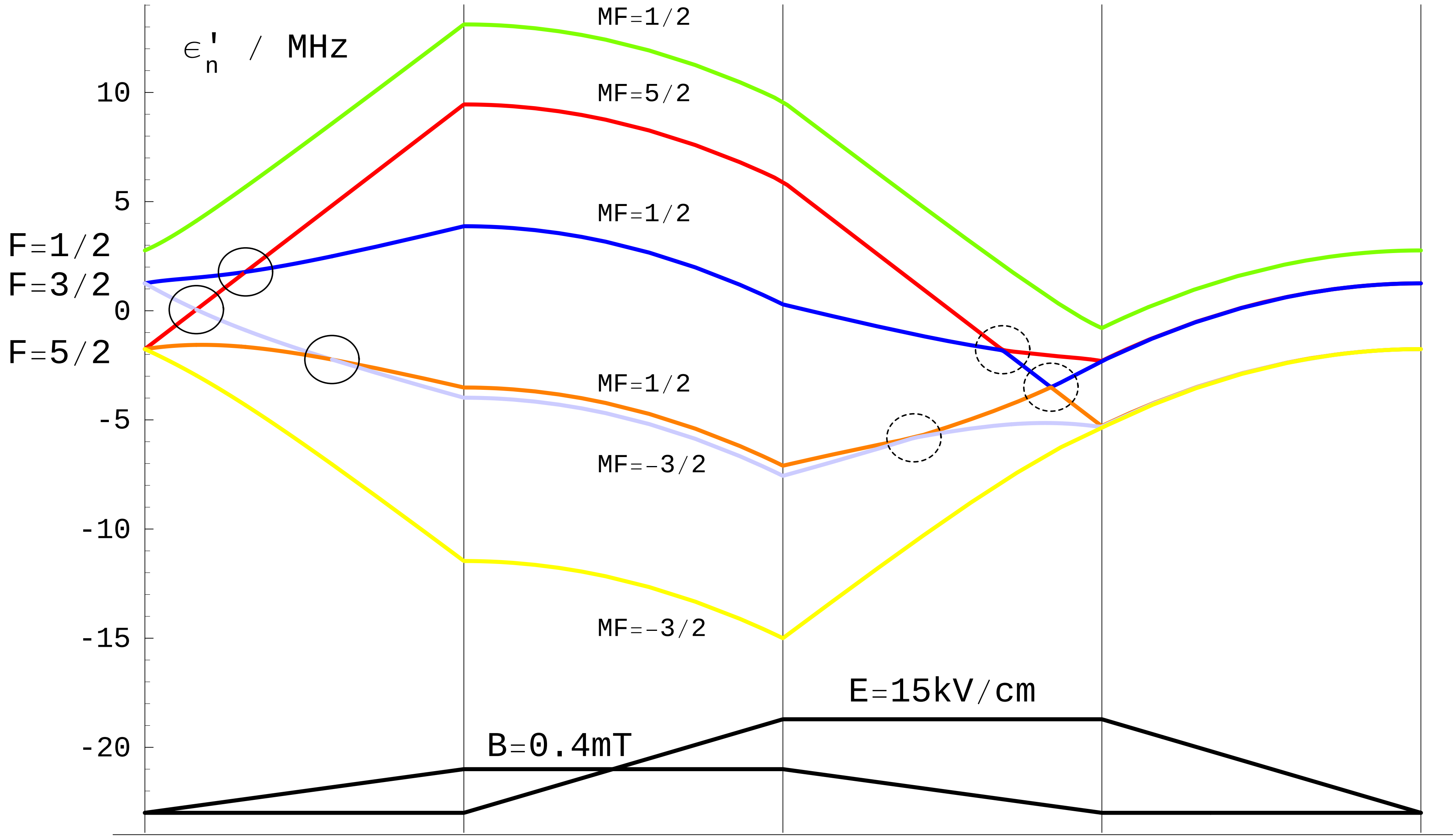



Figure 4: Ceossing und Anticrossing des positiven Systems von $^6$Li. Durchgezogene (gestrichelte) Kreise bei Crossing (Anticrossing).

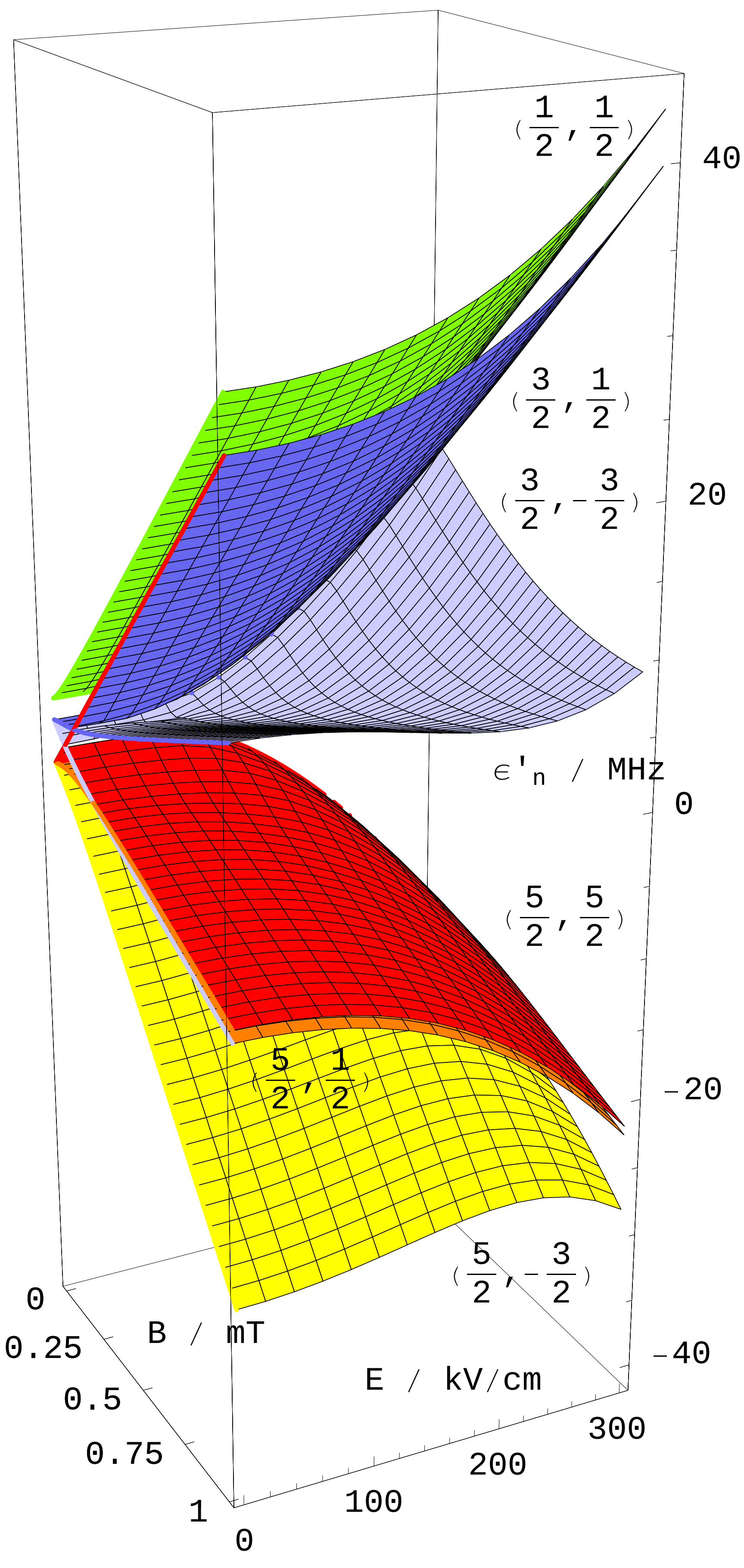



Figure 7: Energieflächen $E_n$ für das positive System

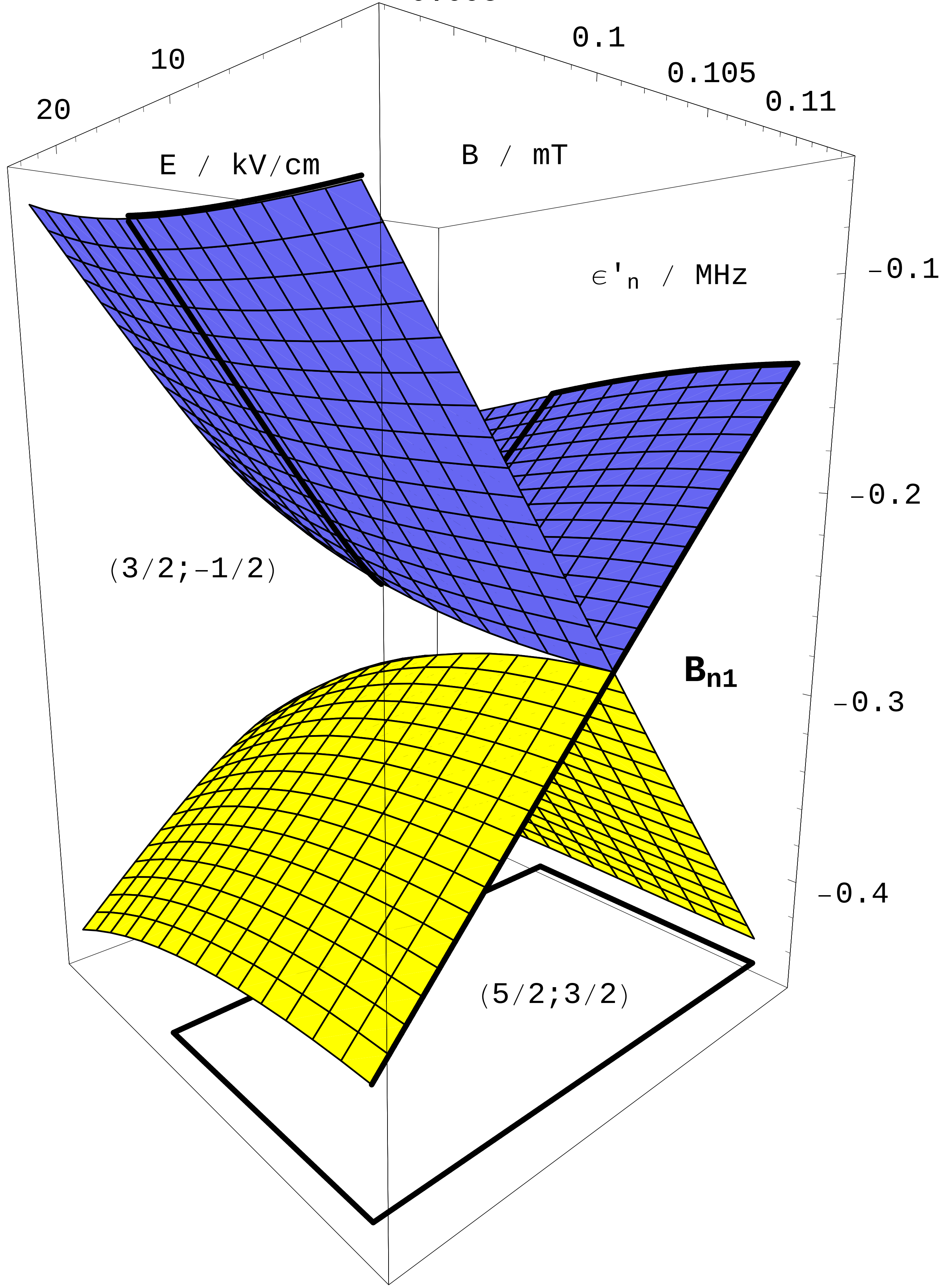



Figure 8: Wanderung des Phasenpunkts bei einem geschlossenen Zyklus durch Bn1.

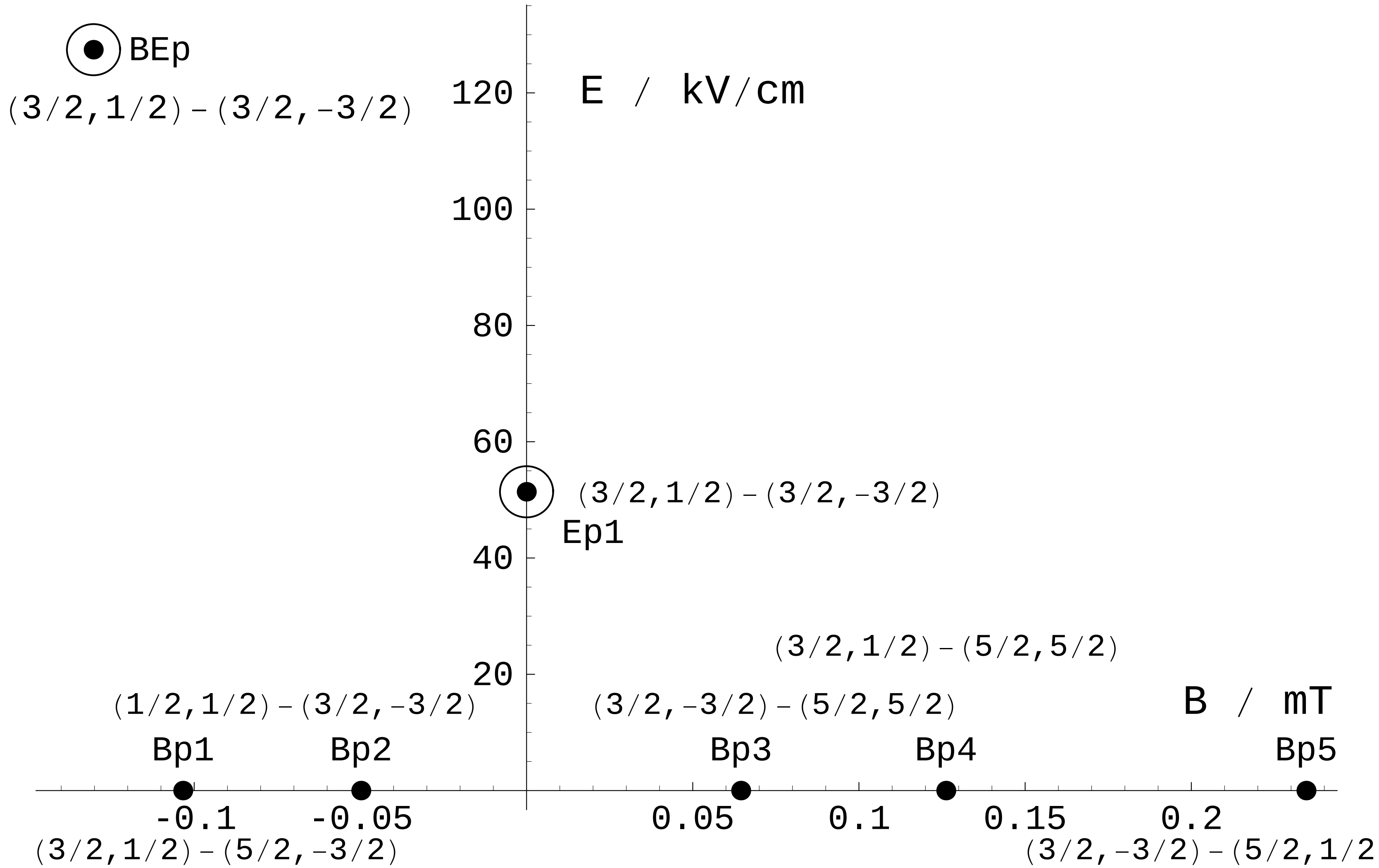



Figure 10: Die $B, E$-Ebene des positiven Systems von $^6$Li.
7 Kreuzungspunkte Bp1, ..., Bp5, Ep1. Kreise umgeben solche mit geometrischer Phase: Ep1, BEp.

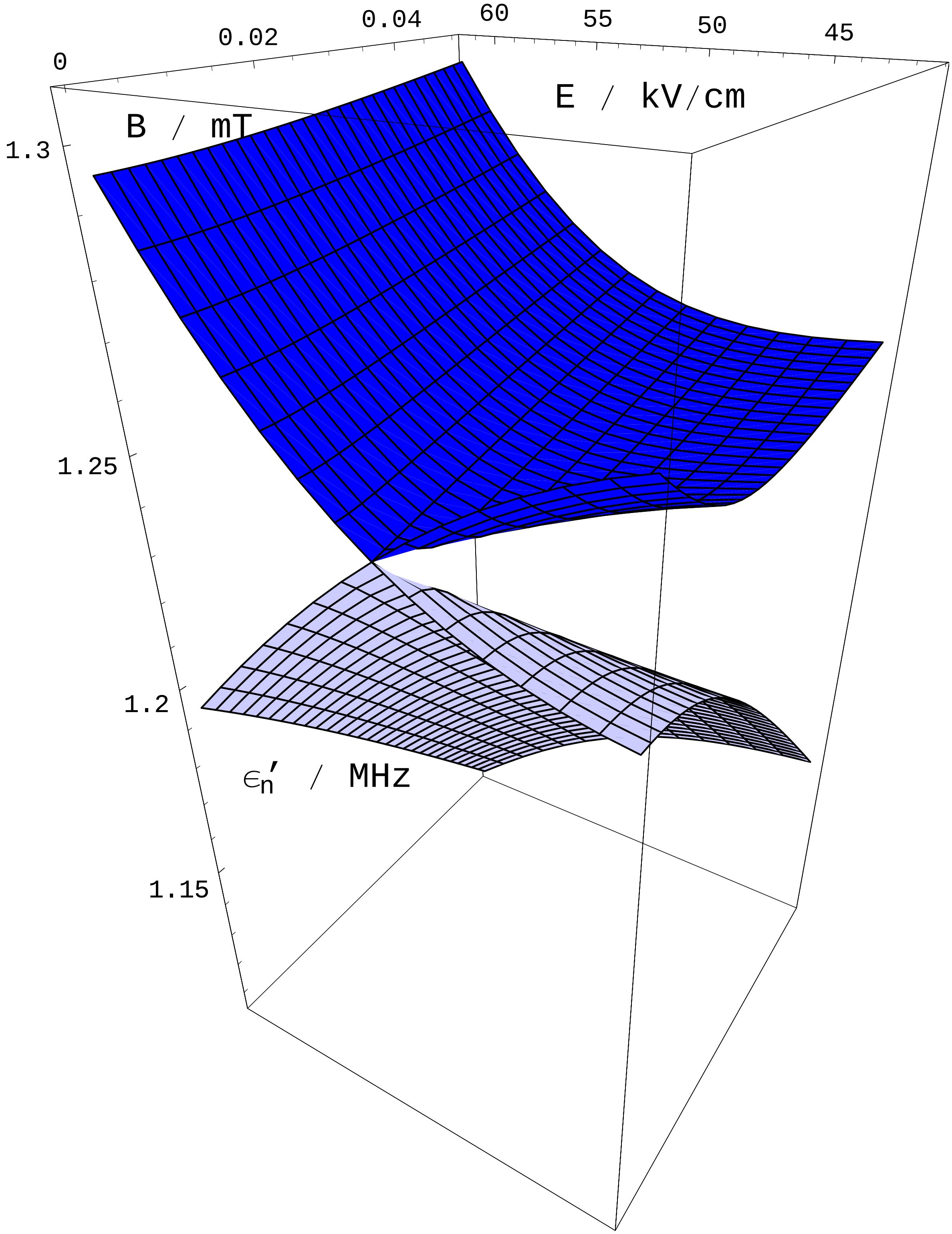



Figure 8: Gestalt der Energieflächen bei Ep1 entspricht einem Doppelkegel.

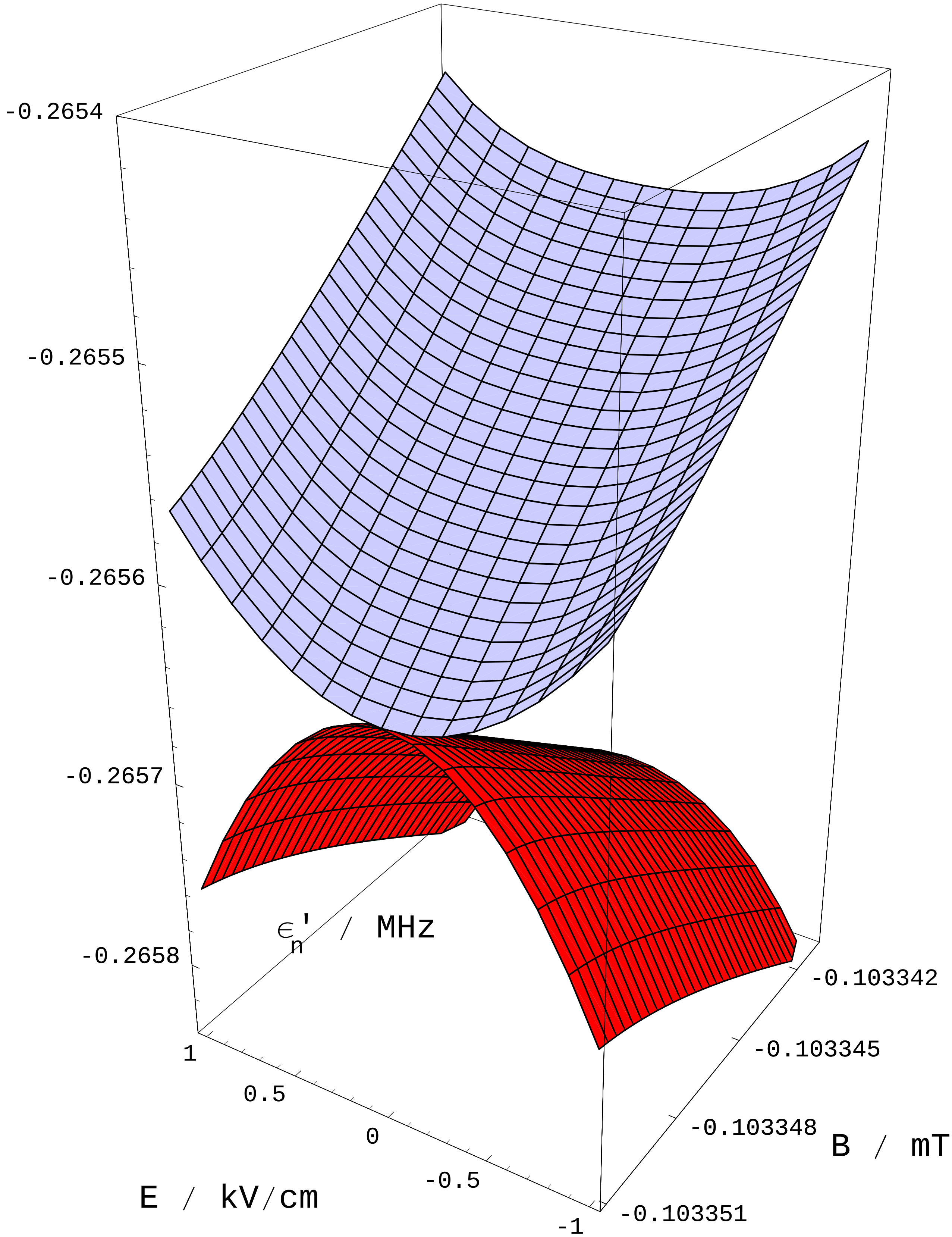



Figure 11: Gestalt der Energieflächen bei Bp1 entspricht **keinem** Kegelschnitt; oskulierend in der $E$-Richtung, kreuzend in der $B$-Richtung.

**Dynamische Phase:** $\phi_j^{(d)}$

$$\Psi_n(t) = \sum_j d_{nj}(t)\, e^{-i\phi_j^{(d)} t}\, \psi_n(B(t), E(t))$$

$$\phi_j^{(d)} = 2\pi \int_0^t dt'\, \epsilon_n(B(t'), E(t')).$$

**Zyklische Feldveränderung**: $0 \le t \le T$ :
$B(T) = B(0),\ \ E(T) = E(0).$

$t = 0 :\ \ \Psi_n(0) = \psi_n(B(0), E(0)) \ \Rightarrow\ d_{nj} = \delta_{nj};$

$t = T :$

$$\Psi_n(t) = \psi_n(B(0), E(0))\ \underbrace{e^{-i\phi_n^{(g)} T}}_{geo.Ph.}\ \underbrace{e^{-i\phi_j^{(d)}(T)}}_{dyn.Ph.}.$$

Geometrischer Faktor: $e^{-i\phi_n^{(g)} T} = +\,1$ oder - 1.

Allgemeine Formel für geometrische Phase:

$$\phi_n^{(g)}(T) = \int_{B(0),E(0)}^{B(T),E(T)} dB'\, dE' \times$$
$$\times\ \underbrace{\Im[< \psi_n(B', E')|\nabla_{B,E}|\psi_n(B', E') >]}_{=0}$$

ist hier nicht anwendbar.

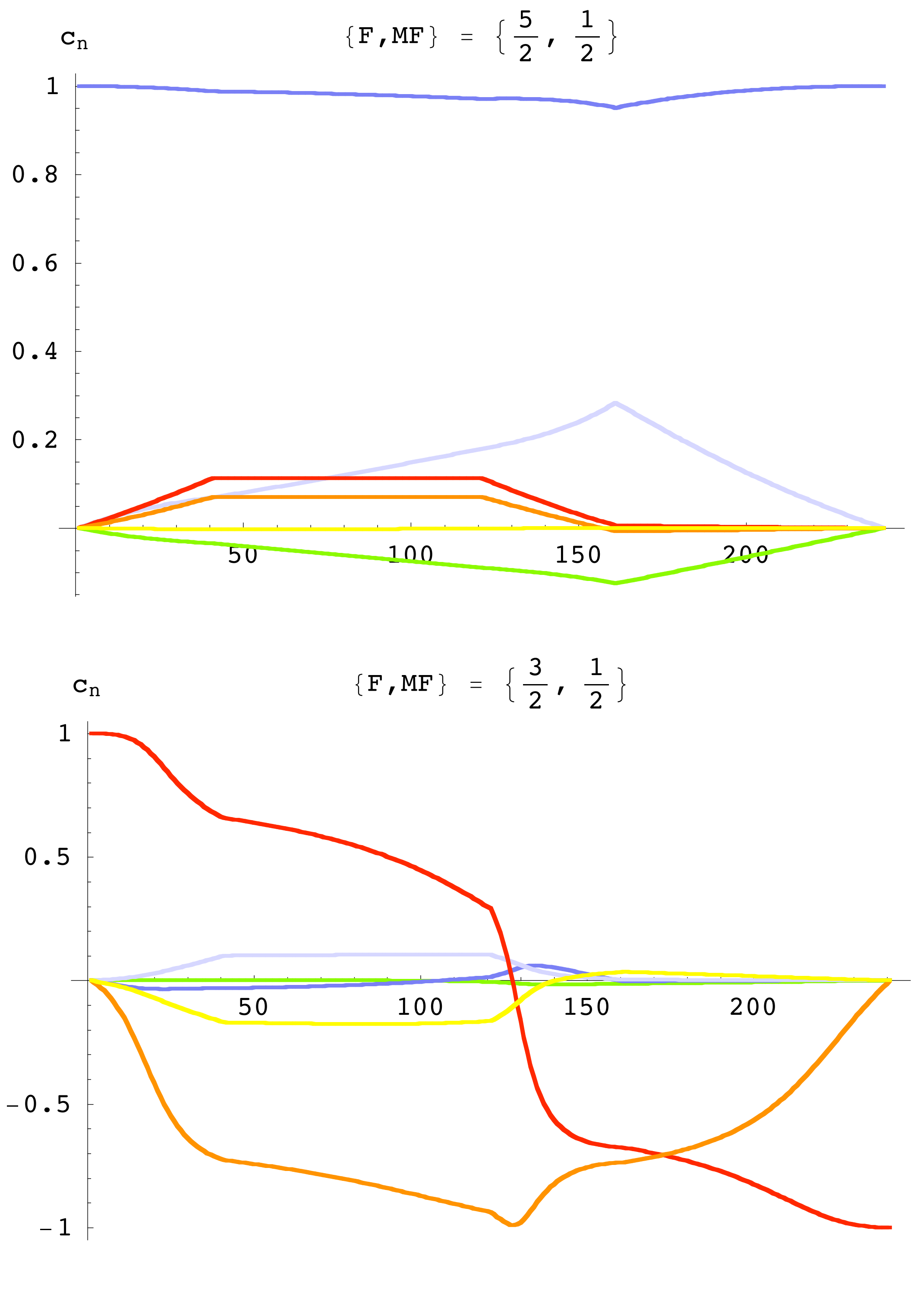
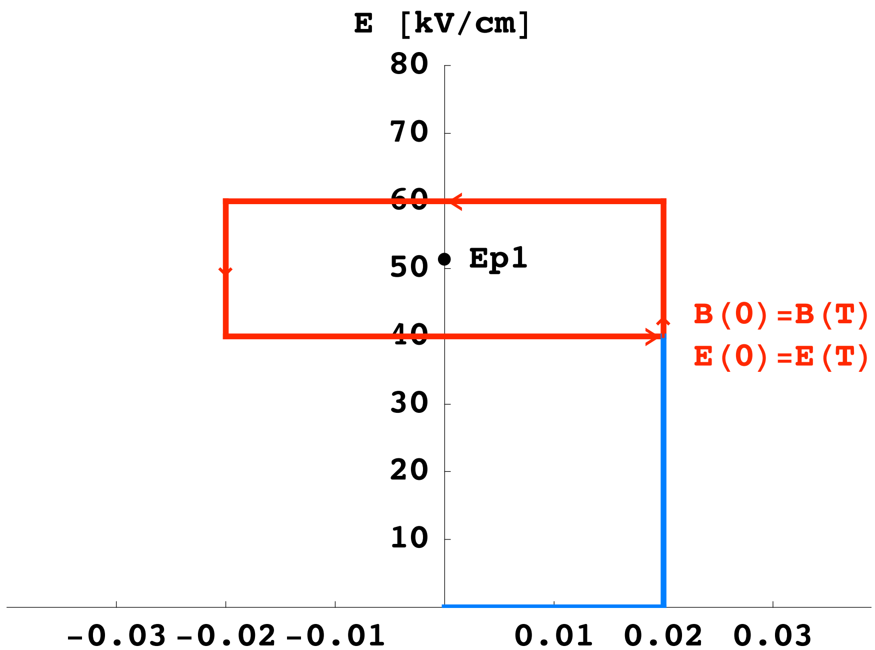



Figure 12: Adiabatische Entwicklungskoeffizienten für einen Zyklus um den KreuzungspunktEp1


E [kV/cm]
80
70
60
50
40
30
20
10
Ep1
B(0)=B(T)
E(0)=E(T)
-0.03 -0.02 -0.01
0.01 0.02 0.03

# Geometrische und dynamische Phase

| F | $M_F$ | Geo.Ph. | Dyn.Ph |
|---|---|---|---|
| 5/2 | 5/2 | 0 | -53873.4 |
| 5/2 | 1/2 | 0 | $-53213.$ |
| 5/2 | -3/2 | 0 | -52740.6 |
| 3/2 | 1/2 | $\pm\pi$ | -49484.4 |
| 3/2 | -3/2 | $\pm\pi$ | -49404.1 |
| 1/2 | 1/2 | 0 | -47339.7 |