

Prüfungsprotokoll Vordiplom Physik, 30.1.2006
 Prüfer: Prof. Bolse (Institut für Strahlenphysik), Studiengang: Chemie (Diplom)

Nachdem ich ihn gefunden hatte [die Prüfung war nicht in seinem Zimmer, in dem wir mit ihm einen Termin ausgemacht hatten...], bat er mich, am ovalen Tisch an der Rundung zwischen ihm (mit B. bezeichnet) und dem Beisitzer (Bs.) Platz zu nehmen.

B: Also, fangen wir an mit den Erhaltungssätzen. Nehmen wir mal ein Drehpendel (*malte das rechts unten gezeichnete Bild auf*): Sie haben hier zwei Kugeln der Masse M mit Radius R' . Sie sind über einen Stab verbunden, dessen Masse wir vernachlässigen. In der Mitte sind sie über einen weiteren Stab mit einer Drehfeder verbunden.

Jetzt nehmen sie die Hantel und drehen sie um den Winkel ϕ , was passiert?

Ich (I): Aufgrund der Rückstellkraft der Feder wird die Hantel zunehmend beschleunigt wird genauso weit auf der anderen Seite wieder ausgelenkt, danach wieder zurück. Das System schwingt also.

B: Können Sie mir die Schwingungsgleichung dafür aufschreiben?

I:
$$\ddot{\phi} + \frac{J}{D} \phi = 0$$

B: Und die Lösung dafür?

I: Wollen Sie die Herleitung oder die Lösung direkt?

B: Die Lösung.

I:
$$\omega = \sqrt{\left(\frac{J}{D}\right)}$$

B: Sind Sie sicher?

I: Hm. Also, man hat das rücktreibende Drehmoment $M = -D\phi$ und allgemein $M = J\alpha$.

Dann muss es heißen $\omega = \sqrt{\left(\frac{D}{J}\right)}$ (habe es auch in der Gleichung oben korrigiert, also

$$\ddot{\phi} + \frac{D}{J} \phi = 0$$
).

B: Genau. Was ist denn jetzt das Omega?

I: Die Kreisfrequenz.

B: Und das ist?

I: Ähm... Geschwindigkeit? Allgemein ist ja definiert $\omega = \frac{d\phi}{dt}$.

B: Ist das wirklich dieses Omega? Überlegen Sie mal, was passiert denn mit dem Omega während der Schwingung? Wie ist es z.B. bei der Maximalauslenkung?

I: Also, $\omega = \frac{d\phi}{dt}$ ändert sich während der ganzen Schwingung, weil sich der Winkel ändert, beim Maximum ist das dann gleich 0.

B: Richtig. Und das $\omega = \sqrt{\left(\frac{D}{J}\right)}$?

I: D ist konstant, das Trägheitsmoment J auch, also ist auch ω konstant.

B: Wie können Sie denn die Kreisfrequenz noch ausdrücken?

I: Über die Schwingungsdauer, also die Zeit, die das System benötigt, um einmal eine ganze Schwingung auszuführen. dafür gilt ja

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$
, das kann man dann nach umformen.

B: Ja. Wie ist denn das Trägheitsmoment allgemein definiert?

I: (*War mir kurz unsicher mit dem Symbol, hat dann gesagt, es ist M*) Es ist $M = \int_{\text{Körper}} r^2 dm$, also man muss jeden Massenpunkt dm über den gesamten Körper integrieren.

B: Wie ist das Trägheitsmoment von unserem System?

I: Das kann man mit dem Steinerschen Satz berechnen. Der Steinersche Satz allgemein ist ja $J = J_s + MR^2$.

B: Ja, den brauchen Sie nicht unbedingt extra hinzuschreiben.

I: Ich möchte es aber, damit ich mich dabei nicht vertue. J_s ist das Trägheitsmoment, wenn die gesamte Masse um ihren Schwerpunkt rotieren würde, M die Masse und R der Abstand der Masse von der Rotationsachse. In unserem Fall haben wir zwei Kugeln. Das

Trägheitsmoment einer Kugel ist $\frac{2}{5}JM^2$, der Radius hier ist R' , also ist $J_s = \frac{4}{5}MR'^2$. Somit ist für unser System

$$J = \frac{4}{5}MR'^2 + 2MR^2$$
, weil es zwei Kugeln mit der Masse M sind und der Abstand von der Drehachse ja R ist.

B: Gilt der Steinersche Satz nur bei Rotation um den Schwerpunkt des Systems, also hier um die Achse (legt auf die Verbindung der Hanteln mit der Feder seinen Bleistift).

I: Öhm... nein?

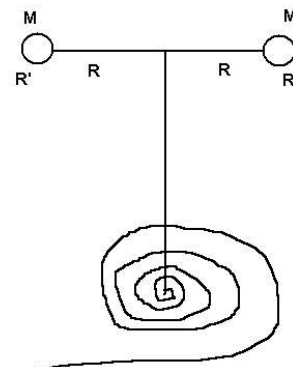
B: Stimmt. Auch wenn das System um diese Achse rotiert oder um diese (verschiebt seinen Stift zweimal nach links), gilt der Steinersche Satz immer noch. Gut.

B: Wie ist der Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehimpuls?

I: $M = J\alpha$ und $L = J\omega$, also ist $M = \frac{dL}{dt}$.

B: Was besagt der Drehimpulserhaltungssatz?

I: In einem abgeschlossenen System, das heißt in diesem Fall, es wirkt kein äußeres Drehmoment, bleibt die Summe aller



Drehmomente des Systems konstant.

B: Warum? Sie haben es im Prinzip ja schon hingeschrieben.

I: Ähm, weil kein Drehmoment wirkt, ändert sich der Drehimpuls ja nicht.

B: Genau. In diesem Fall ist $M=0$, also ist auch $\frac{dL}{dt}=0$ und der Drehimpuls bleibt gleich. Können Sie mir ein Beispiel geben für den Drehimpulserhaltungssatz?

I: Natürlich. Also, beispielsweise wenn eine Eiskunstläuferin sich auf dem Eis dreht und dabei die Arme ausstreckt...

B: (*lacht*) Das ist genau das Beispiel, das ich auch im Kopf hatte. Wieso haben sie da auch dran gedacht?

I: (*denke mir, es ist das Beispiel, was in den alten Protokollen steht ;-*) Es ist halt das Beispiel, das man in vielen Büchern findet.

B: Ja. Ich habe aber noch ein anderes (*lächelt verheißungsvoll*), darauf kommen wir gleich. Warum und wie gilt jetzt der Drehimpulserhaltungssatz?

I: Die Eiskunstläuferin dreht sich und hat dabei ihre Arme ausgestreckt. Dann hat sie ein bestimmtes Trägheitsmoment und einen Drehimpuls. Wenn sie jetzt die Arme anzieht, dreht sie sich schneller, denn ihr Trägheitsmoment wird kleiner, und da der Drehimpulserhaltungssatz gilt, muss, um denselben Drehimpuls zu behalten, die Frequenz steigen (*zeige dabei auf $L=J\omega$*).

B: Genau richtig. Jetzt das nächste Beispiel. Sie kennen ja sicher die Methode, wie man ein gekochtes von einem rohen Ei unterscheiden kann? Man legt beide auf den Tisch und dreht sie an. Was passiert?

I: Das gekochte Ei dreht sich wesentlich schneller als das rohe.

B: Und warum?

I: Ähm... bin mir nicht ganz sicher. Ich meine, dass die allgemeine Begründung sei, dass das rohe Ei innen ja flüssig ist, also besteht Reibung zwischen den Molekülen. Aufgrund der Reibung geht dann Energie verloren und das Ei dreht sich langsamer.

B: Das verstehe ich nicht ganz. Dann müsste durch die Reibung die Energie verloren gehen, also wird das Ei warm. Somit ist das also eine Methode, ein Ei zu kochen, indem man es dreht?

I: Nein, das geht natürlich nicht. Ähm. Der einzige Unterschied ist ja, dass das gekochte Ei fest ist.

B: Ja, genau. Was passiert dann?

I: Hm... (*zeichne mal ein festes und ein rohes Ei hin*). Also, hier ein festes und ein rohes Ei...

B: Wenn Sie beide Eier so andrehen (*dreht die Hand*), was ist dann gleich?

I: Das Gewicht.

B: Ja, das bleibt auch gleich. Was noch? Denken Sie mal an eben.

I: Ach so, die anfängliche Geschwindigkeit, mit der das Ei angedreht wird.

B: Genau. Und was passiert nach dem Andrehen? Wo ist der Unterschied zwischen beiden Eiern?

I: A, genau. Wenn man das feste Ei andreht, dann hat das eben ein Trägheitsmoment und einen Drehimpuls. Wenn man das rohe Ei andreht, dann dreht man nur die Schale und die oberste "Eischicht" an und gibt dem Ei dabei einen Drehimpuls.

B: Und dann kommt Ihre Reibung ins Spiel.

I: Ja, nach und nach werden immer mehr "Eischichten" aufgrund der Reibung in Bewegung gesetzt. Dabei wird dann ja das Trägheitsmoment und weil der Drehimpuls gleich bleibt, muss die Geschwindigkeit kleiner werden.

B: (*hat ab und zu dabei schon reingeredet und meine Sätze angefangen oder ergänzt*). So ist es. Wieviel Zeit haben wir denn noch?

Bs: Genug.

Bolse: Ok. Dann gehen wir mal zur Thermodynamik. Sie kennen ja sicher ein ideales Gas. Welche Annahmen macht man da?

I: Die Gasteilchen im idealen Gas haben kein Volumen. Außerdem üben sie keine Wechselwirkungen aufeinander aus.

B: Wirklich?

I: Naja, es können zwei Teilchen zusammenstoßen. Aber sie ziehen sich nicht an.

B: Ja, es gibt keine langreichweitigen Kräfte. Kennen Sie eine Gleichung dafür?

I: Die ideale Gasgleichung: $p\bar{V}=RT$

B: Was ist \bar{V} ?

I: Das molare Volumen des Gases. Man kann die Gleichung auch so schreiben: $pV=nRT$

B: Jaja, das passt schon, molares Volumen reicht völlig. Jetzt gibt es ja vier verschiedene Arten von Zustandsänderungen. Welche sind das?

I: Isochor, isotherm, isobar und adiabatisch.

B: Ja. Jetzt können Sie ja ein Zustandsdiagramm aufzeichnen. Wie sieht darin die Isotherme aus?

I: In dem Fall ist das Zustandsdiagramm ja das pV-Diagramm. Wenn man die ideale Gasgleichung nach V umformt, erhält man ja

$p = \frac{RT}{V}$. Also ist die Isotherme im pV-Diagramm eine Isotherme und sieht ungefähr so aus (*zeichne die Isotherme in ein Schaubild ein*).

B: Und wie sieht eine Adiabate aus?

I: Bei der Adiabate gilt ja $pV^\gamma = \text{const}$ also $p = \frac{\text{const}}{V^\gamma}$. Somit ist die Adiabate auch eine Hyperbel, aber steiler als die Isotherme.

Sieht also so aus (*zeichne sie auch noch ins Schaubild dazu*).

B: Ja, wenn γ größer als eins ist...

I: ...was es ist, denn es ist ja definiert als $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ und $C_p > C_v$.

B: Dazu kommen wir gleich noch. Was heißt denn isotherm?

I: Die Temperatur bleibt konstant.

B: Und adiabatisch?

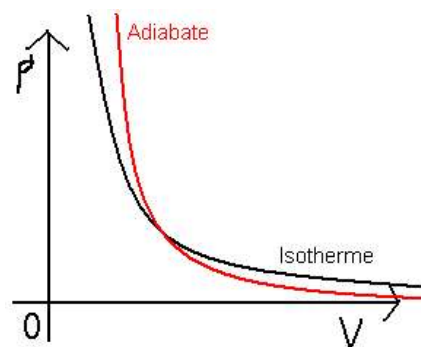
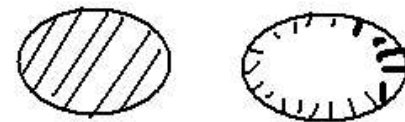
I: Es gibt keinen Wärmeaustausch zwischen System und Umgebung.

B: Was müssen Sie tun, damit Sie isotherm sind?

I: Man muss heizen oder kühlen, je nachdem ob die Reaktion endo- oder exotherm ist.

B: Wir haben hier ja keine Reaktion. Aber ja. Was muss man für adiabatisch tun?

I: Die Reaktion muss so schnell ablaufen, dass kein Wärmeaustausch mit der Umgebung



stattfindet.

B: Wir haben immer noch keine Reaktion. Wenn Sie aber hier was haben, das keine Wärme mit der Umgebung austauschen soll, was müssen Sie dann tun?

I: Aso, perfekt isolieren.

B: Genau. Bei isotherm müssen Sie sehr langsam vorgehen und so für ständige Temperaturgleichheit sorgen, für adiabatisch müssen Sie gut isolieren und die Zustandänderung schnell durchführen.

Zum reale Gas, was ist das?

I: Beim realen Gas geht man davon aus, dass die Gasteilchen ein Eigenvolumen haben und einen Eigendruck, also, dass sie sich gegenseitig anziehen.

B: Ja, hierbei gibt es anziehende Wechselwirkungen zwischen den Teilchen. Wie sieht davon das Diagramm aus?

I: Wir gehen ja vom van-der-Waals-Gas aus, dessen Gleichung ist $(p - \frac{a}{V^2}) \cdot (\bar{V} - b) = RT$, dabei ist b das Volumen der Teilchen

und a die Wechselwirkung der Teilchen untereinander. Die theoretische Kurve sieht so aus (zeichne die VdW-Kurve in ein Koordinatensystem, T_1 [B. sagt, ich soll größer zeichnen]). Der reale Verlauf ist so (zeichne die horizontale Linie des Zweiphasengebiets ein).

B: (Überlegt kurz) Ja. Sie sollten immer Ihre Achsen beschriften, denn wenn Sie irgendwann mal einen Vortrag halten und einer schläft kurz, dann weiß der nicht mehr, worum es geht. Also, was heißt denn dieser Strich in der Kurve, der ja im realen Verlauf auch so auftritt?

I: Wenn man von hohem Druck und kleinem Volumen kommt, dann ist das Gas ja flüssig. Wenn man das Volumen vergrößert, geht man quasi auf der Kurve entlang. Wenn man auf den Knick kommt, fängt ein Teil der Substanz an, zu verdampfen, es verdampft dann zunehmend mehr. Ab dem zweiten Knick ist dann alles gasförmig.

B: Es liegen also zwei Phasen vor und der Druck bleibt gleich. Wie sieht es denn bei höherer Temperatur aus?

I: Also zunächst gibt es die kritische Temperatur. Bei dieser sieht die Kurve so aus (zeichne T_k). Es gibt bei kritischem Druck und kritischem Volumen hier eine horizontale Tangente an die Kurve.

B: Was ist beim kritischen Punkt kritisch?

I: Druck, Temperatur und Volumen.

B: Ja, und das heißt?

I: Darüber kann man das Gas nicht mehr verflüssigen.

B: OK. Was macht die Kurve des idealen Gases bei großem Volumen?

I: Sie geht asymptotisch gegen 0.

B: Und beim realen Gas?

I: Auch.

B: Also, was macht das reale Gas?

I: ???

B: Wenn Sie die beiden Kurven anschauen? Wie verhalten sie sich?

I: Beide gehen gegen 0.

B: Ja, im Prinzip haben Sie es schon gesagt. Ich hätte nur gern gehört, das sich das reale Gas bei großem Volumen wie ein ideales Gas verhält. Wie ist es bei kleinem Volumen?

I: Das ideale Gas geht sehr viel schneller nach oben als das reale Gas.

B: Und warum?

I: (überlege kurz) Das reale Gas ist hier ja verflüssigt. Die Kompressibilität der Flüssigkeit ist deutlich kleiner.

B: Genau, wenn Sie da das Volumen ein bisschen verkleinern, wird der Druck sofort viel größer. Sie haben eben die Wärmekapazitäten angesprochen. Was ist C_p , was C_v ?

I: C_p ist die Wärmekapazität bei konstantem Druck, C_v die bei konstantem Volumen. Dabei ist C_p größer.

B: Wie groß sind denn C_p und C_v für Luft?

I: $C_p = \frac{7}{2}$ und $C_v = \frac{5}{2}$ B: $7/2$ und $5/2$ was?

I: R natürlich (ergänze R).

B: Was ist R?

I: Die allgemeine Gaskonstante.

B: Ja. Wie groß ist C_v für ein ideales Gas?

I: $3/2$?

B: Wie kommen Sie denn da drauf?

I: Also, es gibt ja eigentlich nur 3 Freiheitsgrade der Translation.

B: Wie viele Freiheitsgrade hat denn ein zweiatomiges Molekül?

I: 3 Freiheitsgrade der Translation hat man ja immer. Diese gehen mit je $1/2R$ in C_v ein. Außerdem gibt es noch Rotation und Oszillation.

B: Die Oszillation lassen wir mal beiseite. Wie sieht es mit der Rotation aus?

I: Nur die Rotation um diese beiden Achsen gehen ein (zeige mit meinem Bleistift die beiden oben eingezeichneten Achsen). Die Rotation um die Kernverbindungsachse ist bei Normaltemperatur nicht angeregt.

B: Eigentlich ist diese Schwingung nie angeregt. Können Sie mir auch sagen, warum?

I: Hm... Es ändert ja nichts am Molekül...

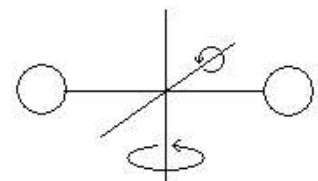
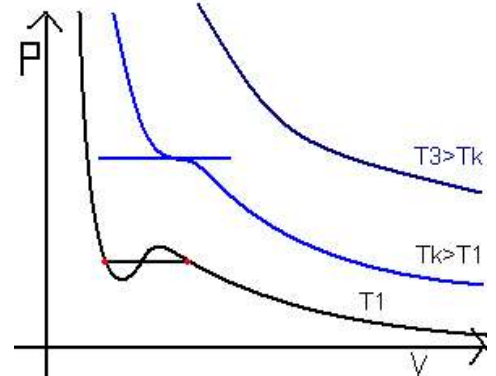
B: Aber wenn ich das Atom um diese Achse drehe (dreht seinen Stift zwischen den Fingern), dann ändert das ja auch nichts.

I: ??? (überlege)

B: Zunächst gibt es da ja immer das Argument mit der Symmetrie. Wenn sie keine Möglichkeit haben, das Atom auf einer Seite zu markieren, dann können Sie nicht unterscheiden, ob es sich überhaupt bewegt hat (zeigt dabei auf seinen Stift und dreht ihn). Es gibt aber noch eine andere Begründung.

Bs: Ich bin mir sicher, dass Sie das wissen.

I (habe eine Idee, als mir den rotierenden Stift anschaue): Jeder Freiheitsgrad ist ja eine Möglichkeit, Energie aufzunehmen. Jetzt ist



bei Rotation um die beiden Achsen ein bestimmtes Trägheitsmoment gegeben. Die Atome sind aber viel kleiner als ihr Abstand, deshalb ist das Trägheitsmoment viel kleiner. Sie müssten also sehr viel schneller rotieren.

B: Genau. Ein Atom ist in der Größenordnung von 10^4 \AA kleiner als der Abstand zwischen beiden Atomen. Da die Geschwindigkeit quadratisch in die Energie eingeht, müsste das Atom also 10^8 mal so schnell schwingen, um die gleiche Energie aufzunehmen.

So, jetzt haben wir noch ein bisschen Zeit. Was machen wir denn jetzt noch?

Bs (*gähnt dabei*): Strahlengang vom Mikroskop?

B: Nein, das hatten wir heute schon oft genug. Machen wir lieber was anderes.

Bs: Widerstände?

I (*schnell*): Radioaktivität?

B: Ja gerne, machen wir noch etwas Radioaktivität. Welche Arten von radioaktiver Strahlung gibt es denn?

I: α -, β^+ -, β^- und γ -Strahlung.

B: Und was ist diese Strahlung jeweils?

I: α -Strahlung sind zweifach positiv geladene Heliumkerne, β^- -Strahlung Elektronen, β^+ -Strahlung Positronen und γ -Strahlung ist eine elektromagnetische Welle.

B: Können Sie mir die Zerfallsgleichung für β^+ - und β^- -Zerfall aufschreiben?

I: Natürlich. Also, zuerst der β^- -Zerfall. Wir haben zuerst ein Element A mit N Nukleonen, also Protonen und Neutronen, und P Protonen. Der Zerfall läuft dann gemäß ${}^N_Z\text{A} \rightarrow {}^N_{Z-1}\text{B} + e^- + \bar{\nu}_e$, es zerfällt also ein Neutron zu einem Proton und es wird also ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino frei. Beim β^+ -Zerfall, wieder ausgehend vom Element A, zerfällt ein Proton in ein Neutron, ein Positron - wie schreibt man denn das? ...

B: e^+

I: ...und ein Neutrino. ${}^N_Z\text{A} \rightarrow {}^N_{Z+1}\text{C} + e^+ + \nu_e$

B: Wieso entsteht da ein Neutrino dabei?

I: Zunächst hat man das Neutrino postuliert, später dann entdeckt. Wenn man sich α - und γ -Strahlung anschaut, findet man, dass die Teilchen immer bestimmte Energien haben. Das liegt daran, dass sie bei bestimmten Übergängen im Kern frei werden.

B: Ja, die Zustände im Kern können nur diskrete Niveaus annehmen. Wie ist es jetzt beim β^- -Zerfall? Würde man das da auch erwarten?

I: Ja, auch für diesen Zustand gibt es nur diskrete Niveaus. Allerdings findet man im Experiment eine kontinuierliche Verteilung, was den Energieerhaltungssatz verletzen würde. Das Neutron nimmt also die restliche Energie auf.

B: Es gibt auch noch eine dritte Art von β^- -Zerfall, der eigentlich dem β^+ -Zerfall sehr ähnlich ist. Dabei fängt der Kern ein Elektron aus der Hülle ein. Haben Sie davon schon mal gehört?

I: Ja. Das wäre also so, wenn man das Positron auf die andere Seite der Gleichung bringt.

B: Naja, so einfach überbringen kann man es nicht... Wissen Sie auch, wann eher β^+ - und wann eher β^- -Zerfall auftritt?

I: Also, es gibt ja die Nuklidkarte, auf der alle Isotope eingezeichnet werden. Ich hab grade nicht mehr exakt im Kopf, wie man die zeichnet.

B: Normalerweise trägt man die Anzahl der Protonen über den Neutronen auf.

I (zeichne ein Koordinatensystem, N über Z und die 1. Winkelhalbierende ein): Die stabilen Isotope liegen alle auf oder in der Nähe dieser Geraden.

B (*ergänzt*): Genau. Für leichte Elemente sind stabile Konfigurationen bei gleich vielen Protonen wie Neutronen. Für schwerere Elemente flacht die Gerade etwas ab.

I: Das heißt, dass die Elemente, die nicht auf der Geraden liegen, durch β^- -Zerfall drauf kommen.

B: Ja, wenn das Element mehr Neutronen als Protonen hat, dann kann es durch β^- -Zerfall eine stabile(re) Konfiguration erreichen, wenn es mehr Protonen als Neutronen sind, durch β^+ -Zerfall.

Dann sind wir jetzt fertig, gehen Sie bitte mal einen Moment raus.

Nachdem ich einige Zeit draußen war, die mir wie eine Ewigkeit vorkam, holte er mich wieder ins Zimmer und fragte mich, wie ich meine Leistung einschätzen würde. Ich meinte, naja, woraufhin er sagte, er verstehe nicht, warum "ihr euch alle selber so schlecht macht". Da ich nicht alles sofort wusste und öfters mal etwas auf dem Schlauch stand, war das halt mein Gefühl. Auch der Beisitzer meinte, man sollte sich eher besser einschätzen, da der Prüfer einem sowieso sagen würde, was ihm nicht gefallen hätte. Bolse sagte dann, meine Leistung hätte ihm gut gefallen, denn ich hätte gezeigt, dass ich die Sachverhalte verstanden hätte und anwenden könnte und auch auf etwas kommen könnte, was ich nicht einfach gelernt hätte, besonders das mit dem Ei sei nicht trivial gewesen. Auch die Thermodynamik sei "im Wesentlichen" OK gewesen, nur das mit den $3/2R$ fürs ideale Gas würde er mir jetzt ewig vorhalten. Zur Radioaktivität hätte ich aber mehr gewusst, als er erwartet hätte.

Er hat mir eine 1,0 gegeben und gemeint, ich sollte mir die Sachen, wo ich mir nicht ganz sicher war, nochmal anschauen und weiter so machen "und vielleicht sehen wir Sie dann ja mal hier".

Fazit:

Prof. Bolse stellt an einem Tag sehr ähnliche Fragen. Da ich als Vorletzter an diesem Tag Prüfung hatte, wusste ich schon in etwa, was mich erwartete. Er fragt meist sehr anschaulich und formuliert Fragen auch mal um, wirkt manchmal etwas ungeduldig.

Ich kann ihn als Prüfer nur empfehlen, denn er ist sehr freundlich und hilft auch weiter, wenn man nicht auf etwas kommt. Außerdem sind seine Fragen sehr ähnlich wie die in den alten Protokollen (obwohl er meist doch etwas mehr in die Tiefe fragt, als dort stand, was aber bei allen Protokollen so sein dürfte. Deshalb habe ich mich bemüht, meine Prüfung möglichst wortgetreu wiederzugeben [so gut es aus dem Gedächtnis eben ging]).

Ich habe hauptsächlich aus alte Protokolle gelernt, indem ich die Themengebiete zusammengefasst und möglichst viel dazu gelesen und versucht habe, es zu verstehen (hauptsächlich aus Paus+Gerthsen), das hat gut hingehauen.