

## Diplomprüfung Theor. Informatik

Datum 30. April 1998

Prüfer Dr. Damaschke

Kurs 1685 Effiz. Graphenalg.

Dauer ca. 25 Min

### Eulerkreis und Eulerpfad

- Kriterium für die Existenz eines Eulerkreises (2.1.2)
- wie lautet der Algorithmus (analog zum 2. Teil des Beweises); hier vor allem: Darstellung wenn man beim „ersten“ Durchlauf noch keinen E-kreis hat, also mit dem „Rest“ fortfahrt (wie, Integration des bereits „gefunden“ Teils, etc.)

### Hamiltonkreis

- Definition (allg. Erläutert)
- Komplexität (2.3.5)

### Minimalgerüste

- was ist ein Minimalgerüst (4.1.1)
- welche Algorithmen wurde vorgestellt (4.1.4, 4.1.6, 4.1.9)
- wie lauten die Komplexitäten dazu (4.1.5, 4.1.7, 4.1.9)
- warum ergeben diese Algorithmen ein Minimalgerüst: Grundprinzip erläutert (4.1.3)+ Beweis (alles ziemlich ausführlich)

### Unabhängige Kantenmengen

- $\alpha_E(G)$  - Bestimmung in paaren Graphen (7.1.4)
- wie ist die Komplexität dazu (7.1.5)
- $\alpha_E(G)$  - Bestimmung in beliebigen Graphen: Ergänzungspfadmethode (auch ziemlich ausführlich mit einige Überleitungen zu den dazugehörigen Definitionen (7.3))
- wie ist die Komplexität dazu
- Zusammenhang  $\alpha_V(G) + \beta_V(G) = |V|$  erläutern (7.2.3)

### Unabhängige Knotenmengen

- $\alpha_V(G)$  - Bestimmung in paaren Graphen (7.2.5, und über 7.2.2)
- wie ist die Komplexität dazu (7.1.5)
- $\alpha_V(G)$  - Bestimmung in beliebigen Graphen

Die Prüfung verlief in lockerer Atmosphäre. Ich habe mir u.U. das Leben selber etwas schwer gemacht, da ich zweimal mein Wissen „nicht riiberbringen“ konnte, bzw. war mir nicht genau klar „was er jetzt eigentlich hören wollte“ (z.B. beim „Einbau des Restes in einen bereits gefunden Teils eines Eulerkreises“: Warum ist das dann ein Eulerkreis, etc.). Insgesamt hat mir das die „eins“ vor dem Komma gekostet. Ich kann daher nicht bestätigen, daß man die „Algorithmen nicht so gut können muß“. Bei mir war ihm der Beweis eigentlich egal, er wollte die allgemeine Vorgehensweise haben und wissen warum sie funktioniert und warum das dann auch noch einen Eulerkreis ergibt. Nach meiner Ansicht verlangt er sehr, daß man Kenntnisse über den allgemeinen Zusammenhang hat.

# Gedächtnisprotokoll

## Diplomprüfung theoretische Informatik

Kurs : 1685 Effiziente Graphenalgorithmen (Version WS 96/97)

Prüfer : Dr. Damaschke

Termin : März 98

Dauer : 30 Minuten

Themen:

1. Minimalgerüste:  
Was ist ein Minimalgerüst ? (Definition Gerüst und Kosten angegeben)  
Was gibt es allgemein dazu zu sagen ? (Hier war Satz 4.1.3 gefragt)  
Können Sie das beweisen ?  
Wie kann ein Minimalgerüst bestimmt werden ? (Erklärung des Algorithmus von Jarnik, Prim, Dijkstra und des Algorithmus von Kruskal, den dritten Algorithmus erwähnte Dr. Damaschke selbst mit dem Hinweis: den lassen wir weg)  
Warum gibt es mehrere Algorithmen ? (Hier wollte er darauf hinaus, daß die Laufzeit einmal  $O(|V|^2)$  und einmal  $O(|E|\log|E|)$  ist. Je nach Aufbau der Graphen kann mal der eine mal der andere Algorithmus günstiger sein)
2. Pfade zwischen je zwei Knoten:  
Wie kann man z.B. beim Streckenplan der Bahn die Zeiten zwischen Orten bestimmen ? (Pfade zwischen je zwei Knoten)  
Wie macht man das ? (theoretische Herleitung aus Skript erläutert)  
Und praktisch ? (Algorithmus erläutert)  
Kann man so auch das Maximum bestimmen ? (Nein, geht über in Problem des Hamiltonpfades, das ist NP-vollständig)  
Es gab noch eine spezielle Art von Graphen (gemeint sind dags)  
Wie kann man da die kürzesten Wege bestimmen ? (erst topologische Ordnung und dann den Algorithmus erläutert)  
Wie sieht es hier mit längsten Wegen aus ? (Minimum läßt sich durch Maximum ersetzen)
3. Unabhängige Mengen:  
Bitte vervollständigen Sie die folgende Tabelle (jeweils mit Begründung):

	beliebige Graphen	paare Graphen
$\alpha_V$	NP-vollständig	Polynomial
$\alpha_E$	Polynomial	Polynomial

### Allgemeiner Eindruck:

Dr. Damaschke macht einen freundlichen Eindruck. Macht man Fehler, so gibt er durch Nachfragen die Möglichkeit sich zu verbessern. Meines Erachtens gibt es bei korrekter Verbesserung auch keine Minuspunkte. Bei Unsicherheiten hakt er aber auch nach und will es dann genau wissen. Bei den Algorithmen und Beweisen wird jeweils das Prinzip erfragt. Das muß dann auch stimmen. Was ihn immer sehr interessiert sind die Laufzeiten mit den dazugehörigen Begründungen.

## **Diplomprüfung Theoretische Informatik**

Gedächtnisprotokoll

**Prüfer: Dr. Damaschke**

**Termin: 05.06.97**

**Dauer: 25 min**

**Note: 2,0**

**Prüfungsinhalte: Kurs 1685 - Effiziente Graphenalgorithmien**

### **Prüfungseindruck:**

Dr. Damaschke ist ein guter Prüfer. Er wechselt zu einem anderen Thema, wenn man mal etwas nicht genau weiß (nachdem er etwas nachgebohrt hat) und gibt einem dort wieder alle Chancen. Bei mir war das der Fall 'Matroide' zu dem ich nichts anbringen konnte :( Dies wurde natürlich entsprechend negativ gewertet, ohne Auswirkung auf den Rest der Prüfung zu nehmen.

Allgemein ist der gesamte Kursumfang prüfungsrelevant. Besonders wichtig sind KE 2, 4, 5, 7. Die KE 3 und 6 werden aber auch geprüft; daraus insbesondere die Punkte, die mit den anderen KE in Verbindung stehen. Ein globales Verständnis, insbesondere der Zusammenhänge, ist wesentlich wichtiger als Details der einzelnen Algorithmen/Sätze/Definitionen zu kennen! Bei Beweisen ist die Idee wichtig, nicht die technische Ausführung. Man sollte zu den wichtigen Beweisen die Ideen und zu den Algorithmen das Prinzip parat haben.

Da ich durch einen Stau mich verspätet hatte war ich entsprechend unruhig und nervös. Dr. Damaschke versuchte durch seinen Prüfungsstil zu beruhigen. Dies klappte leider nicht so gut, was aber eher mein Problem war. Insgesamt also ein empfehlenswerter fairer Prüfer.

### **Prüfungsverlauf:**

1. Sie haben ein Verkehrsnetz mit Städten und Straßen. Sie möchten nun eine Rundfahrt machen, die alle Städte genau einmal besucht. Welches Graphenproblem haben Sie dann?

- Hamilton-Pfad; NP-Vollständigkeit, Beweisidee (3SAT-Reduktion) erläutert

2. Wenn nun die Forderung gestellt wird alle Straßen genau einmal abzufahren?

- Eulerpfad; Satz von Euler, lineare Komplexität, und die Konstruktion eines Eulerpfads (Prinzip des Algorithmus) erläutert

3. Wenn nun nur möglichst optimale Straßen gewählt werden sollen, um die Städte zu verbinden, welches Problem liegt dann vor?

- Minimalgerüst zu finden.
- Allg. Algorithmenidee erläutert, sowie die Algo.von Dijkstra, Jarnik, Prim und Kruskal. Komplexitäten genauer betrachtet.

4. Was sind Matroide?

- Hier kam nun leider mein Einbruch.

5. Was sind Zuordnungen?

- Definition angegeben.

6. Wie bestimmt man die maximale in paaren Graphen?

- Erläutert wie der Zusammenhang ist zum Maximalflußproblem.

7. Welche Kanten werden für die Zuordnung ausgewählt?

- Hier leider viel Hilfestellung vom Prüfer gebraucht, bis ich darauf kam, daß natürlich die Kanten mit Fluß eins gewählt werden, da die anderen, die X und Y verbinden den Fluß null haben (aufgrund der Konstruktion!!! Und der Tatsache, daß bei ganzzahligen Kapazitäten auch nur ganzzahlige Flüße entstehen !!!)

8. Wie ist die Komplexität im allgemeinen Fall?

- Immer noch polynomiell. Ergänzungspfadmethode genannt, aber nicht erläutert.

9. Welche Komplexität hat das Problem der maximal unabhängigen Knotenmenge?

- Allg. NP-Vollständig. In paaren Graphen polynomiell.

10. Wie zeigt man das?

Nach dem Satz von König gilt:  $\alpha_E(G) = \beta_V(G)$  und für allg. zusammenhängende Graphen:  $\alpha_E(G) + \beta_V(G) = |V|$

# Gedächtnisprotokoll zur Diplomprüfung: Theoretische Informatik

**Kurs: 1685 Effiziente Graphenalgorithmien**

**Prüfer: Dr. P. Damaschke**

**Datum: 27.3.97**

**Dauer: 25 min**

**Note: 1.0**

1. Netzwerke:

- **Definition** zulässiger **Gesamtfluß**, **max-flow-min-cut-Theorem** erklären.
- Wie kann man den **Maximalfluß** bestimmen? (**Ford/Fulkerson** und **Dinic-Algorithmus** grob beschreiben mit flußvergrößernden **Pfaden**)

2. Kapitel 7:

- Was hat ein Netzwerk mit  $\alpha_E$  zu tun? (Netzwerk in paaren Graphen mit Beweisidee von  $\alpha_E = F$ )
- **Komplexitäten** für  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\chi$  nennen. (wichtig Satz von König:  $\alpha_E = \beta_V$ )
- Wie bestimmt man Zuordnungen bei bel. Graphen? (**Ergänzungsmethode**)
- $\chi_V$  definieren und Reduktion für 3COL nennen. (3SAT)
- Wie bestimmt man **2COL**? (**DFS** modifizieren)

3. Kürzeste Wege:

- Wie **bestimmt** man die konvexe **Hülle**? (**Floyd/Warshall** oder **Kleene**)
- O.K. was ist mit **Matrixmultiplikation**? (Definition **nennen** und austauschen von + und \*, sowie Komplexität nennen)

4. Chordal:

- **Definition** chordal.
- Wie **kann** man zeigen, daß ein Graph G chordal ist? (**p.e.o.** finden  $\Rightarrow$  chordal)

Die **mündliche Prüfung** bei Dr. Damaschke lief sehr locker und angenehm ab. Es war auch nicht schlimm, daß ich  $\alpha$  und  $\beta$  **mal** vertauschte. Es ist besonders wichtig die letzten Kapitel gut zu können und die **Komplexitäten** zu wissen. Bei NP-vollständigen Problemen sollte man die Reduktion kennen. Eine Reduktion selber braucht man aber nicht **durchzuführen**. Die Algorithmen sollte man grob beschreiben **können** und die wesentlichen Merkmale **kennen**. Bei den Beweisen reicht es aus die Beweisidee anzugeben. **Auf Übungsaufgaben** wurde gar nicht **eingegangen**. Es reicht also das Skript **zu** können. Wer sich an die angegebenen Hinweise hält, sollte eigentlich ohne Probleme die **Prüfung** mit einer guten Note bestehen.

1

# Diplomprüfung Theoretische Informatik

Datum: 26. März 1997  
Prüfer: Dr. Damaschke  
Kurs: 1685 **Effiziente** Graphenalgorithmen WS 96/97  
Dauer: 25 Min.  
Note: 1.7

- Eulerkreis und Eulerpfad

Was ist ein Eulerkreis? -> 2.1.1  
Kriterium für die Existenz eines **Eulerkreises** -> 2.1.2  
Wie geht der Beweis? -> ausführlich  
Komplexität ? -> 2.2.2

- **Hamiltonkreis**

Was ist ein **Hamiltonkreis**? -> 2.3.1  
Komplexität ? -> 2.3.5

- TSP

Was ist TSP ? -> 2.3.6  
Beweis der NP-Vollständigkeit ? -> 2.3.7 , dabei beide Richtungen **ausführlich** dargestellt

- **Minimalgerüste**

Was ist Minimalgerüst ? -> 4.1.1  
Welche Algorithmen wurden vorgestellt ? -> 4.1.4, 4.1.6, 4.1.9  
Wie sind die Komplexitäten dazu ? -> 4.1.5, 4.1.7, 4.1.9  
Algorithmus von Kruskal **ausführlich** darstellen -> 4.1.6  
Warum ergeben diese Algorithmen ein Minimalgerüst ? -> Grundprinzip 4.1.3 erläutert  
Welche Verallgemeinerung gibt es ? -> 4.2.1 Greedy-Algorithmus, 4.2.2, 4.2.5  
Was sind Matroide ? -> 4.2.3  
Greedy-Algorithmus erklären -> 4.2.1

- Unabhängige Kantenmengen

Definitionen -> 7.1.1  
 $\alpha_E(G)$  - Bestimmung in paaren Graphen ? -> 7.1.4 (Dinic-Algorithmus grob skizziert)  
Wie ist die Komplexität dazu ? -> 7.1.5  
 $\alpha_E(G)$  - Bestimmung in beliebigen Graphen ? -> Ergänzungspfadmethode 7.3  
Ergänzungspfadmethode erklären -> 7.3.1, 7.3.3, 7.3.4, 7.3.5, **weitere Erläuterung**  
Wie ist die Komplexität dazu ? -> **polynomial**  $O(\sqrt{|V|} \cdot |E|)$   
Zusammenhang  $\alpha_V + \beta_V = |V|$  erläutern



- Unabhängige Knotenmengen

Definition

$\alpha_V(G)$  - Bestimmung in paaren Graphen ?  $\rightarrow \alpha_V(G) = \beta_1(G)$

Wie ist die Komplexität dazu ?  $\rightarrow$  polynomial

$\alpha_V(G)$  - Bestimmung in beliebigen Graphen ?  $\rightarrow$  Hier kam ich dann schwer ins Schleudern

Wie ist die Komplexität dazu ?  $\rightarrow$  NP-vollständig

## . Fazit

Die **Prüfung** lief in einer sehr ruhigen und **freundlichen** Atmosphäre ab. Dr. Damaschke weist **freundlich auf Fehler** oder Unklarheiten hin, die, wenn man sie selbst korrigieren kann, auch keine Minuspunkte einbringen. Bei der letzten Frage mußte er mich allerdings bis kurz vor die Lösung führen. Dr. Damaschke ist als Prüfer wirklich zu empfehlen.

Viel Glück !!!

1

## Prüfungsprotokoll Diplomprüfung Theoretische Informatik Effiziente Graphenalgorithmen

Prüfer: Dr. Damaschke

Termin: 21. 3. 96

**Frage:** "Wie sieht man einem ungerichteten Graphen an, ob er zusammenhängend ist?"

**Antwort:** "Tiefensuche - gucken, ob äußere Schleife mehrfach durchlaufen wird."

**Frage:** "Zweifachen Zusammenhang entscheiden? Und was ist das überhaupt?"

**Antwort:** "Zusammenhängend und keine Artikulationspunkte! Tiefensuche vielleicht mal an jedem Knoten starten und gucken, welchen outdeg die Wurzel hat."

**Frage:** "Das wäre ziemlich komplex. Geht es auch schneller?"

**Antwort:** Grübel, grübel . . . "Irgendwie gibt's auch ein Kriterium für die Nicht-Wurzelknoten im DFS-Baum. Weiß nicht genau."

**Frage:** "Aha - das wissen Sie also nicht mehr. Wollen wir das dann übergehen?"

**Antwort:** "Ja."

**Frage:** "Was ist denn ein Eulerkreis?"

**Antwort:** Definition genannt.

**Frage:** "Gibt es denn ein Kriterium für die Existenz?"

**Antwort:** Satz von Euler genannt.

**Frage:** Beweisgedanken erfragt.

**Antwort:** Ein paar Beweisgedanken gestammelt. Algorithmus vage umschrieben. Komplexität genannt. ( Genaue Begründungen für Komplexitäten mußte ich glücklicherweise nirgends bringen. )

**Frage:** "Na gut, das ist es im Wesentlichen." Da gibt es ja einen ähnlichen Begriff - nennt Definition Hamiltonkreis. Wie ist denn da Komplexität für das Entscheidungsproblem?"

**Antwort:** Grübel, grübel.... Ach ja! Das war ja der Monsterbeweis! "NP-vollständig!"

**Frage:** "Richtig, Zusammenhang zum Handlungsreisenden?"

**Antwort:** Erst mal in Ruhe TSP definiert und dann die wunderbar leichte Reduktion genannt.

**Frage:** "Richtig - war ja auch leicht. Kommen wir mal zu gerichteten Graphen. Wie bestimmt man denn, ob zu je zwei Knoten Weg dazwischen existiert?"

**Antwort:** Sofort fallen mir verschiedene Stichworte ein: Hüllen, starker Zusammenhang . . . , habe aber nur angstvoll den Prüfer angestarrt.

**Frage:** "Geht das nicht irgendwie mit Matrixmultiplikation?"

**Antwort:** "Sukzessive länger werdende Pfade betrachten. Irgendwie die Hülle der Adjazenzmatrix berechnen."

**Frage:** "Mit gewöhnlicher -Matrixmultiplikation?"

**Antwort:** "min statt + und + statt \*"

**Frage:** Prüfer guckt verunsichert. Grübelt selbst. "Ja, tatsächlich - stimmt." (Irgendwie glaube ich aber, dass wir das mit kürzesten Wegen oder transitiver Hülle durcheinandergebracht haben.) Spricht die Wichtigkeit von chordalen Graphen an.

**Antwort:** Definition genannt.

**Frage:** "Gibt es denn Charakterisierungen?"

**Antwort:** "  $\iff$  jeder minimale Separator ist Clique."

**Frage:** "Müßte man jeden solchen prüfen. Geht es nicht schneller?"

**Antwort:** Grübel... "Ach ja  $\iff$  besitzt p. e. o.!"

**Frage:** "Was ist das?"

**Antwort:** Definition genannt.

**Frage:** "Wie benutzt man das nun, um Chordalität zu erkennen?"

**Antwort:** Stammel, stammel ( Das weiß ich nun aber wieder nicht. )

So geht das noch eine Weile. Herr Damaschke fragt noch nach Knoten- u. Kantenfärbungen. Z. B. mußte ich sagen, daß das Färbungsproblem im allgemeinen NP-vollständig ist aber die Bipartitität nicht und was die chromatische Zahl ist und sowas. Insgesamt verlief die Prüfung eher oberflächlich und thematisch in die Breite gehend. ( Herr Damaschke haut bestimmt niemanden in die Pfanne. ) Keine Beweise auswendig lernen bis auf kleinere Reduktionen. Merken, was NP-vollständig und was polynomial lösbar ist ! Note: 1.3

Gedächtnisprotokoll Diplomprüfung Theoretische Informatik

Kurs: 1685 Effiziente Graphenalgorithmen  
(eine Teilprüfung, Ende 1995)

Prüfer: Dr. Damaschke

Datum: 19. 12. 1995

Dauer: 25 min

Note: 2,0

Frage: Wie sieht es mit der Komplexität für die folgenden Probleme aus und warum?

	<u>in beliebigen Graphen</u>	<u>in paaren Graphen</u>
$\alpha_E$	polynomiell	polynomiell
$\alpha_V$	NP-vollständig	polynomiell
XV	NP-vollständig	linear
$\chi_E$	NP-vollständig	polynomiell

Frage: Wann besitzt ein Graph einen Eulerkreis?

Antwort: Anzahl der Knoten mit ungeradem Grad ist gleich null.

Frage: Warum?

Antwort: Ich habe den Beweis aus der Vorlesung angegeben.

Frage: Wie sieht es mit der Umkehrung aus?

Antwort: Gilt ebenfalls (mit Beweis).

Frage: Wie ist dabei die Komplexität?

Antwort: Linear.

Frage: Wenn man statt Knoten Kanten hat, welches Problem hat man dann?

Antwort: Hamiltonkreis-Problem.

Frage: Komplexität?

Antwort: NP-vollständig.

Frage: Wie ist die Komplexität, um festzustellen, ob ein Graph **chordal** ist?

Antwort: Polynomiell (über Verfahrens-Idee: simpliziale Knoten suchen).

Bemerkungen: Die Prüfung ist - aus meiner Sicht - relativ anspruchsvoll aber angenehm.  
Mich hat die erste Frage (die Tabelle) etwas überrascht, wodurch ich ziemlich nervös wurde. Da mir Dr. Damaschke Zeit zum Nachdenken lies, dann das Thema wechselte und die maximale Prüfungsdauer prüfte, hatte ich Gelegenheit, den schlechten Prüfungsanfang - zumindest teilweise - zu kompensieren. Daher kann ich Dr. Damaschke als Prüfer empfehlen.  
Viel Glück bei der Prüfung !

Protokoll der Diplomprüfung:

-----



Theoretische Informatik • Teil 1

Kurs 1685 ; Effiziente Graphenalgorithmien

Prüfer: Dr. P. Damaschke

Termin: 08.05.1995

Dauer: ca 20 • 25 Minuten

**Prüfungsinhalte:**

1) Minimalgerüste

- Was ist ein Minimalgerüst ?
- Was für Algorithmen zur Erzeugung von **Minimalgerüsten** gibt es ?
- Prinzipien der Algorithmen von Jarnik, Prim, Dijkstra und von Kruskal erläutern
- Komplexitäten der Algorithmen nennen und **begründen**

2) Zuordnungen, paare Graphen

- Was ist ein paarer Graph ?
- was sind Zuordnungen ?
- maximale Zuordnungen
- Zusammenhang mit Maximalflüssen
- Netzwerk definieren
- maximale Zuordnungen und minimale **Knotenüberdeckungen**

3) Knoten-/Kantenfärbungen

- Was sind Knotenfärbungen
- Zerlegung in minimale Anzahl unabhängiger Knotenmengen
- Algorithmus zur Erzeugung minimaler Zerlegungen ( z. B. DFS mit **Berücksichtigung** von **Rückwärtskanten** )
- **NP-vollständige** Färbungsprobleme

4) Eulerkreise und -pfade

- Definition von Eulerkreisen und -pfaden
- Kriterien für die Existenz von Eulerkreisen und -pfaden
- Komplexität des Algorithmus zur Konstruktion solcher Kreise bzw. Pfade angeben und kurz **begründen**

Allgemeines:

Die Prüfungsatmosphäre war angenehm. Dr. Damaschke half bei auftretenden Schwierigkeiten. Es wurden keine exakten Definitionen und exakte Abläufe von Algorithmen verlangt, sondern mehr die Darstellung der grundlegenden Sachverhalte und Prinzipien.

**Kurs: 1685 Effiziente Graphenalgorithmen**  
**Prüfer: Dr. P. Damaschke**

**Dauer: 25 min**  
**Note: 1.0**

1. In der KE 7 gibt es verschiedene Kenngrößen. Was können Sie über deren Komplexität sagen ?  
(gemeint waren natürlich die  $\alpha_E$ ,  $\beta_E$ ,  $\alpha_V$ ,  $\beta_V$  und Unterscheidung allgemeine und paare Graphen)  
Wie findet man die  $\alpha_E$ ? (-> **Maximalflußproblem** und Ergänzungspfadmethode)  
Wie kann man erkennen, daß  $\alpha_V$  NP-vollständig ist?  
(Hier war der Zusammenhang  $\alpha_V + \beta_V = |V|$  gefragt.)
2. Wie sieht es mit der Komplexität bei  $\chi_E$  und  $\chi_V$  aus ?  
(2COL, 3COL, Bestimmung des chromatischen Index mit Hilfe der Sätze von König, Hall, Mendelsohn/Dulmage erläutert. Genau erläutert wie es zur Folgerung 7.6.4 kommt.)
3. Wie kann man einem gerichteten Graphen die reflexive und transitive Hülle bestimmen ?  
(Hier wollte er die verallgemeinerte Matrixmultiplikation auf dem **Booleschen Semiring** erläutert haben. Ich habe jedoch die verallgemeinerte Matrixmultiplikation auf dem **Semiring  $\mathcal{R}$**  erläutert mit entsprechenden Hinweisen. Das hat er auch akzeptiert.)
4. Wie kann man in gerichteten azyklischen Graphen die kürzesten Wege bestimmen ?  
Wie bestimmt man die **topologische Ordnung** dazu ?  
Genau Begründung der Linearzeit hinterfragt. (Knoten mit  $\text{indeg}(v)=0$  müssen in einer Warteschlange gespeichert werden, um die Linearzeit zu wahren).
5. Wie kann man feststellen, ob ein ungerichteter Graph zusammenhängend ist ?  
(DFS mit nur einem Kellerdurchlauf)  
Wie findet man die zweifach zusammenhängenden Komponenten ? (Lemma 3.2.11 und 3.2.12)

Dr. Damaschke war sehr freundlich. Die Prüfung verlief in einer ruhigen Atmosphäre. Die Fragen waren klar formuliert. Er weist freundlich auf Unklarheiten oder Fehler hin, so daß man sich korrigieren kann. Kommt dann auf die richtige Lösung, so gibt es keine „Minuspunkte“.