

April 2019

In dieser Ausgabe ...

- **Gastbeitrag von Thomas Zeume**
- **Nächster Theorietag**
- **Rückblick: Theorietag 76**

Konferenzen im Jahre 2019

Konferenz	Frist'18	Event'19
FoSSaCS	—	08.–11.04.
CCC	—	18.–20.06.
STOC	—	23.–26.06.
LICS	—	24.–27.06.
PODS	—	30.06–05.07.
ICALP	—	08.–12.07.
SAT	—	09.–12.07.
CIE	—	15.–19.07.
FOCS	05.04.	09.–12.11.
MFCS	22.04.	26.–30.08.
IPEC	29.05.	11.–13.09.
Highlights	???	16.–20.9.
CSL	04.07.	13.–16.01.20

Die letzten Theorietage

TT	Wo	Wann
78	Bei Ihnen?	—
77	Marburg	28.03.19
76	Halle	24.–25.09.18
75	Ulm	10.–11.04.18
74	Lübeck	23.–25.11.17
73	Hamburg	18./19.05.17
72	Hannover	17./18.11.16

Fachgruppenleitung (2016–2019)

E-Mail an die Fachgruppenleitung

- **Arne Meier** (Sprecher)
- **Till Tantau** (stv. Sprecher)
- **Jörg Rothe**
- **Thomas Schwentick**
- **Jacobo Torán**

Mitgliederzahl (GI): 297

Kostenlos Mitglied in FG-KP werden

Liebe Mitglieder der Fachgruppe Komplexität,

Sie halten den siebten Newsletter der GI-Fachgruppe „Komplexität“ in den Händen. Der 76. Theorietag in der Lutherstadt Wittenberg im September lief in Kooperation mit der Fachgruppe Automatentheorie und formale Sprachen (Fabian Müller berichtet in diesem Newsletter über den Verlauf) und der 77. Theorietag in Marburg hat auch gerade vor ein paar Tagen stattgefunden. Der 77. Theorietag findet an der Philipps-Universität Marburg am 28. März 2019 statt (Details siehe letzte Seite). Wir suchen momentan nach Orten für zukünftige Theorietage. Wenn Sie Lust dazu haben der Gastgeber zu sein, melden Sie sich einfach direkt bei **mir**. Auf dem 78. Theorietag steht auch schon wieder eine Neuwahl der Fachgruppenleitung auf der Agenda.

Die **STACS 2019** in Berlin ist nun auch schon wieder vorbei und das Sommersemester steht vor der Tür.

Wie üblich gilt, wenn Sie eine spezielle Konferenz in der linken Spalte vermissen, dann melden Sie sich bei **mir**, damit wir die Konferenz für die Zukunft aufnehmen können.

Außerdem möchte ich auf die Möglichkeit zu kurzen inhaltlichen Beiträgen hinweisen. Bei Interesse Ihrerseits melden Sie sich bitte direkt bei **mir**. Wir planen mit Textvorschlägen von 1–2 Seiten Länge. Diese Ausgabe wartet mit einem Gastbeitrag von **Thomas Zeume** auf. Er gibt einen kleinen Einblick in das spannende Gebiet der dynamischen Komplexität.

Wenn Sie in die Fachgruppe eintreten möchten, dann ist dies **kostenlos** als assoziiertes Mitglied möglich – auch ohne eine GI-Mitgliedschaft. Falls Sie bei der **GI** bisher keine Email hinterlegt haben, so geben Sie diese auf Ihrer Mitgliederseite an, damit der Newsletter auch Sie halbjährig automatisch erreicht.

Der Newsletter ist natürlich auch weiterhin online von unserer **Webseite** zu beziehen.

Und nun wünsche ich Ihnen viel Spass beim Lesen.



Arne Meier, Sprecher der Fachgruppe KP

Die Fachgruppe Komplexität

Die Fachgruppe Komplexität ist ein Teil der Gesellschaft für Informatik. Diese Fachgruppe beschäftigt sich mit komplexitätstheoretischen Fragestellungen. Manche der Themen sind eng gekoppelt an bzw. werden gemeinsam bearbeitet mit anderen Fachgruppen, insbesondere sind dies die **FG Algorithmen** (Thema: Obere Schranken), **FG Automaten und formale Sprachen** (Thema: spezielle Berechnungsmodelle, Abschlusseigenschaften von Klassen) **FG Logik in der Informatik** (Thema: Komplexität logischer Entscheidungsprobleme, Komplexität des logischen Programmierens, subrekursive Hierarchien).

Ein Workshop über Algorithmen und Komplexität, gemeinsam mit der **Fachgruppe Algorithmen**, findet zweimal jährlich statt.

Gastbeitrag: Die dynamische Komplexität des Erreichbarkeitsproblems

von Thomas Zeume (Universität Bremen und TU Dortmund, thomas.zeume@cs.tu-dortmund.de)

Wie lässt sich die Erreichbarkeitsrelation eines Graphen nach dem Einfügen einer Kante aktualisieren? Wird eine Kante (u, v) eingefügt, so gibt es einen Weg von einem Knoten x zu einem Knoten y , falls es bereits vorher einen solchen Weg gab oder aber wenn es einen Weg von x nach u und einen Weg von v nach y gab. Ist die aktuelle Erreichbarkeitsrelation in T gespeichert, so lässt sich T mit dieser Beobachtung wie folgt aktualisieren:

on insert (u, v) update T as

$$T'(x, y) \stackrel{\text{def}}{=} T(x, y) \vee (T(x, u) \wedge T(v, y))$$

Die Aktualisierung von T lässt sich also durch eine sehr einfache prädikatenlogische Formel beschreiben.

Lässt sich die Erreichbarkeitsrelation auch nach Löschen einer Kante auf diese Weise aktualisieren? Leider reicht hierfür eine prädikatenlogische Formel nicht aus. Für einen gerichteten Kreis $C \stackrel{\text{def}}{=} (V, E)$ enthält die Erreichbarkeitsrelation T alle Tupel aus $V \times V$. Nach Löschen einer Kante (u, v) muss eine Aktualisierungsformel die Erreichbarkeitsrelation des Pfades von v nach u definieren. Dies ist für beliebig lange Pfade nicht möglich, wie eine einfache Anwendung bekannter Methoden für die Nicht-Ausdrückbarkeit in der Prädikatenlogik zeigt.

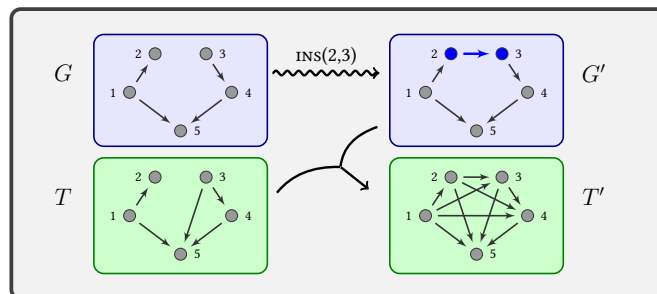
Es stellt sich die Frage, ob die Erreichbarkeitsrelation unter Kanteneinfügungen und Kantenlöschungen aufrecht erhalten werden kann, wenn neben der Erreichbarkeitsrelation T noch weitere *Hilfsrelationen* gespeichert werden dürfen.

Dies führt zu folgendem Begriff. Ein *dynamisches Programm* ist eine Menge $\{T_1, \dots, T_m\}$ von Hilfsrelationen zusammen mit prädikatenlogischen Aktualisierungsregeln für jede der Relationen und für jede erlaubte Änderungsoperation (bspw. Kanteneinfügungen und Kantenlöschungen). Die Klasse der Berechnungsprobleme, die sich durch ein solches dynamisches Programm aufrechterhalten lässt, nennen wir **DynFO** [10]. Das obige dynamische Programm erhält die Erreichbarkeitsrelation unter Kanteneinfügungen mit Hilfe der Hilfsrelation T aufrecht, zeigt also, dass Erreichbarkeit unter Kanteneinfügungen in **DynFO** liegt.

Eine der Leitfragen der *dynamischen Komplexitätstheorie* ist, welche Probleme sich auf diese Art und Weise mit prädikatenlogischen Formeln aufrechterhalten lassen. Motiviert ist diese Fragestellung aus der Komplexitäts- und aus der Datenbanktheorie. Lange Zeit lag der Fokus der Forschung dabei auf dem Erreichbarkeitsproblem.

Aus komplexitätstheoretischer Sicht lässt sich das Erreichbarkeitsproblem parallelisiert lösen: es liegt in **NL** und daher insbesondere in (uniformem) **AC¹**. Es kann also von Schaltkreisen in logarithmischer Zeit parallel gelöst werden, wenn polynomiell viele Gatter mit unbeschränktem Eingrad zur Verfügung stehen. Andererseits ist bekannt, dass es von solchen Schaltkreisen nicht in konstanter Zeit gelöst werden kann, das heißt, es ist nicht in **AC⁰**. Ließe sich das Erreichbarkeitsproblem nun durch prädikatenlogische Formeln im obigen Sinne dynamisch aufrechterhalten, so könnte es dynamisch parallel und in konstanter Zeit gelöst werden. Dies ergibt sich aus der Korrespondenz von uniformen **AC⁰** und Prädikatenlogik mit

Arithmetik.



Dynamische Aktualisierung der Erreichbarkeitsrelation

Aus Datenbank-Sicht entspricht die Ausdrucksstärke des Kerns der Anfragesprache SQL genau der Aussagekraft der Prädikatenlogik. Weil sich Erreichbarkeit nicht durch eine prädikatenlogische Formel ausdrücken lässt, gibt es also auch keine (Kern-)SQL-Anfrage, die verbundene Paare von Knoten in einem Graphen auswählt. Ließe sich Erreichbarkeit jedoch im obigen Sinne dynamisch aufrechterhalten, so könnten Erreichbarkeitsanfragen in einem dynamischen Szenario mit Hilfe des Kerns von SQL beantwortet werden.

Die Frage, ob sich Erreichbarkeit dynamisch durch prädikatenlogische Formeln aufrechterhalten lässt, hat die ersten zwei Jahrzehnte der Forschung in der dynamischen Komplexitätstheorie maßgeblich mitbestimmt. Frühzeitig war bekannt, dass sich Erreichbarkeit unter Einfügungen und Löschungen für azyklische und für ungerichtete Graphen aufrechterhalten lässt [10, 5]. Beide Resultate beruhen auf kombinatorischen Erwägungen. Für azyklische Graphen kann die Erreichbarkeitsrelation ohne weitere Hilfsrelationen aufrechterhalten werden. Dies beruht auf der Beobachtung, dass bei einer Kantenlöschung ein neuer Weg von x nach y ausgehend von einem bisherigen Weg gefunden werden kann, indem ein passender Abzweigungspunkt von diesem (existenziell) geraten wird. Für ungerichtete Graphen lässt sich zeigen, dass ein Spannbaum zusammen mit einer Relation für „Knoten b liegt zwischen Knoten a und c im Spannbaum“ aufrechterhalten werden kann.

Ein zweiter Ansatz, neben der Ausnutzung kombinatorischer Beobachtungen, war der Versuch Erreichbarkeit zunächst in etwas größere dynamische Komplexitätsklassen einzuordnen. Durch die Betrachtung des Problems aus Sicht von erzeugenden Funktionen für die Anzahl der Wege konnte gezeigt werden, dass das Problem mit Hilfe prädikatenlogischer Formeln mit zusätzlichen Majoritätsquantoren [6] oder sogar Modulo-2-Quantoren [2] aufrecht erhalten werden kann.

Erst 2015 konnte die Frage abschließend beantwortet werden.

Theorem ([3]). *Erreichbarkeit lässt sich mit prädikatenlogischen Formeln dynamisch aufrechterhalten.*

Die zugrundeliegende Idee ist, das Erreichbarkeitsproblem zunächst als linear-algebraisches Problem umzuformulieren und dann zu zeigen, dass sich dieses Problem aufrechterhalten lässt.

Schritt 1: Umformulierung des Problems. Die Umformulierung ist sehr ähnlich zu Reduktionen, die von Cook (für die Untersuchung von Problemen in der NC-Hierarchie) und Laubner

(bei der Untersuchung von Erweiterungen der Prädikatenlogik um linear-algebraische Operatoren) verwendet wurden [1, 8].

Wir reduzieren Erreichbarkeit auf das folgende Problem:

Problem: MATRIXINVERSE $\neq 0$?

Gegeben: Eine invertierbare $n \times n$ -Matrix C und $s, t \leq n$

Frage: Ist der s - t -Eintrag von C^{-1} ungleich 0?

Die Reduktion geht von der Adjazenzmatrix A eines Graphen G aus. Die Anzahl der Wege der Länge i von s nach t in G entspricht gerade dem s - t -Eintrag von A^i . Die Matrix $I - \frac{1}{n}A$ ist invertierbar (da diagonal-dominant) und ihre Inverse lässt sich, analog zur bekannten geometrischen Reihe, schreiben als:

$$\left(I - \frac{1}{n}A\right)^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{n^i} A^i$$

Folglich gibt es genau dann einen Weg von s nach t , wenn in der Inversen von $C \stackrel{\text{def}}{=} I - \frac{1}{n}A$ der s - t -Eintrag ungleich 0 ist. Dies liefert die Reduktion auf das Problem MATRIXINVERSE $\neq 0$?. (*Disclaimer:* Es ist noch sicherzustellen, dass diese Reduktion mit der Klasse DynFO kompatibel ist. Das ist aber der Fall.)

Schritt 2: (Fast-)Aufrechterhaltung von Matrix-Inversen. Unser Ziel ist es nun die Inverse C^{-1} einer Matrix C zu aktualisieren, wenn sich C zu $C + \Delta C$ ändert. Die Änderungsmatrix ΔC hat dabei genau einen von 0 verschiedenen Eintrag (u, v) , und lässt sich deshalb als $\Delta C = \bar{e}_u \cdot \bar{e}_v^T$ für Einheitsvektoren \bar{e}_u und \bar{e}_v schreiben. Für die Aktualisierung der Inversen kann die Formel von Sherman-Morrison genutzt werden:

$$(C + \Delta C)^{-1} = (C + \bar{u}\bar{v}^T)^{-1} = C^{-1} - \frac{C^{-1}\bar{u}\bar{v}^T C^{-1}}{1 + \bar{v}^T C^{-1}\bar{u}}$$

Für die Umsetzung dieser Formel als dynamisches Programm müssen noch ein paar Hindernisse aus dem Weg geräumt werden. So ist eine direkte Berechnung mit Hilfe einer prädikatenlogischen Formel nicht möglich, da die Zahlen in der Inversen exponentiell groß in der Größe der Matrix C werden können. Die Addition und Multiplikation solcher Zahlen ist mit prädikatenlogischen Formeln selbst mit Arithmetik nicht möglich (da in uniformem AC⁰ lediglich mit polynomiell großen Zahlen gerechnet werden kann). Dieses und weitere auftretende Hindernisse lassen sich jedoch beseitigen. \square

Die Existenz eines dynamischen Programms für Erreichbarkeit erlaubt es, bislang in den Hintergrund getretenen Fragen der dynamischen Komplexitätstheorie nachzugehen.

Eine Reihe von Herausforderungen ergibt sich aus praktisch motivierten Fragestellungen. In der Praxis sind Änderungen ganzer Datensätze sowie Änderungen aufgrund von Benutzer-Anfragen interessant. Bislang wurden in der dynamischen Komplexitätstheorie fast ausschließlich die einfachsten Änderungen – einzelne Tupel-Einfügungen und Tupel-Löschungen – untersucht. Erste Erkenntnisse für komplexere Änderungen sind, dass dynamische Programme für Erreichbarkeit mit Batch-Änderungen der Größe $\frac{\log n}{\log \log n}$ und, im Falle ungerichteter Erreichbarkeit, mit sich aus prädikatenlogischen Anfragen ergebenden Einfügungen umgehen können [4, 11].

Wie oben skizziert ist eine Motivation für die Untersuchung dynamischer Komplexität, dass dynamische Programme zumindest theoretisch eine hochgradige Parallelisierung von dynamischen Berechnungen erlauben. Auf dem Weg zu praktischen Umsetzungen ergeben sich jedoch Schwierigkeiten.

Beispielsweise sollte für effiziente Umsetzungen sowohl die Stelligkeit der Hilfsrelationen als auch die Verschachtelungstiefe der Aktualisierungsformeln klein sein. Für das oben skizzierte dynamische Programm für die Erreichbarkeit ist ersteres nicht der Fall. Es gibt bereits erste erfolgversprechende Versuche, dynamische Programme [9, 11] oder stark verwandte Ansätze [7] zu implementieren.

Die Suche nach dynamischen Programmen mit kleiner Verschachtelungstiefe führt auch zur folgenden theoretisch interessanten, offenen Fragestellung.

Offene Frage: Lässt sich Erreichbarkeit durch quantorenfreie, prädikatenlogische Formeln dynamisch aufrechterhalten?

Neerthi vermutet man schnell. Wie sich das beweisen lässt ist jedoch unklar (partielle Resultate wurden in [12] erzielt).

Mit den kürzlich erzielten Fortschritten in der dynamischen Komplexitätstheorie ist es an der Zeit, stärkere Verbindungen zu anderen Teilgebieten der theoretischen Informatik herzustellen. Interessante Fragestellungen ergeben sich unter anderem bei der Untersuchung von dynamischen Optimierungsproblemen, bei der Parametrisierung von Problemen, aber auch bei der Untersuchung von dynamischem Model Checking und Ontologien in dynamischen Szenarien.

Literatur

- [1] Stephen A. Cook. A taxonomy of problems with fast parallel algorithms. *Information and Control*, 64(1-3):2–21, 1985.
- [2] Samir Datta, William Hesse, and Raghav Kulkarni. Dynamic complexity of directed reachability and other problems. In *ICALP 2014*, pages 356–367, 2014.
- [3] Samir Datta, Raghav Kulkarni, Anish Mukherjee, Thomas Schwentick, and Thomas Zeume. Reachability is in DynFO. *J. ACM*, 65(5):33:1–33:24, August 2018.
- [4] Samir Datta, Anish Mukherjee, Nils Vortmeier, and Thomas Zeume. Reachability and distances under multiple changes. In *ICALP 2018*, pages 120:1–120:14, 2018.
- [5] Guozhu Dong, Jianwen Su, and Rodney W. Topor. Nonrecursive incremental evaluation of datalog queries. *Ann. Math. Artif. Intell.*, 14(2-4):187–223, 1995.
- [6] William Hesse. The dynamic complexity of transitive closure is in DynTC⁰. *Theor. Comput. Sci.*, 296(3):473–485, 2003.
- [7] Christoph Koch, Yanif Ahmad, Oliver Kennedy, Milos Nikolic, Andres Nötzli, Daniel Lupei, and Amir Shaikhha. DBToaster: higher-order delta processing for dynamic, frequently fresh views. *VLDB J.*, 23(2):253–278, 2014.
- [8] Bastian Laubner. *The structure of graphs and new logics for the characterization of Polynomial Time*. PhD thesis, Humboldt University of Berlin, 2011.
- [9] Chaoyi Pang, Guozhu Dong, and Kotagiri Ramamohanarao. Incremental maintenance of shortest distance and transitive closure in first-order logic and SQL. *ACM Trans. Database Syst.*, 30(3):698–721, 2005.
- [10] Sushant Patnaik and Neil Immerman. Dyn-FO: A parallel, dynamic complexity class. *JCSS*, 55(2):199–209, 1997.
- [11] Thomas Schwentick, Nils Vortmeier, and Thomas Zeume. Dynamic complexity under definable changes. *ACM Trans. Database Syst.*, 43(3):12:1–12:38, October 2018.
- [12] Thomas Zeume and Thomas Schwentick. On the quantifier-free dynamic complexity of reachability. *Inf. Comput.*, 240:108–129, 2015.

Nächster Theorietag in Herbst/Winter 2019

Der 78. Workshop über Algorithmen und Komplexität sucht aktuell noch nach einem Gastgeber. Wenn Sie Lust haben, dann melden Sie sich bei **mir**. Auch wenn Sie eventuell erst im Frühjahr 2020 Gastgeber werden möchten, freut sich die Fachgruppe über Ihr Engagement! Im Herbst/Winter-TT steht eine Neuwahl des Leitungsgremiums auf der Agenda, da die Wahlperiode von drei Jahren schon wieder um ist. Wie die Zeit doch verfliegt! Wenn Sie Interesse an einer Kandidatur haben oder jemanden nominieren möchten (die Bereitschaftbekundung der Person muss bei mir dann vorliegen), dann schreiben Sie mir bitte eine E-Mail. Auch ich werde mich zur Wiederwahl stellen. Ich hoffe, dass Sie mit meiner Arbeit als Sprecher zufrieden gewesen sind und Ihnen die Newsletter, welche in meiner Amtsperiode von mir weitergeführt worden sind, gefallen sowie die von mir eingeladenen Gastbeiträge genossen haben.

— Arne Meier

Rückblick: Theorietag 76 von der Uni Halle

Der 76. Workshop über Algorithmen und Komplexität fand in Kooperation mit der Fachgruppe Automaten und Formale Sprachen in Lutherstadt Wittenberg statt. Bei durchwachsenem Wetter kamen am Montag und Dienstag ungefähr 25 Teilnehmer zusammen. In einem spannenden Programm sprachen Henning Fernau über die *Komplexitätstheorie bei Formalen Sprachen*, Wojciech Plandowski und Volker Diekert untersuchten *Word Equations* sowie Mikhail Volkov betrachtete *Completely reachable Automata*.

Am Montag Abend gab es ein geselliges Zusammensein im Brauhaus bei guter bürgerlicher Küche.

— Fabian Müller

Teilnahmeaufruf: LCC'2019

Der **20te Internationale Workshop über Logik und Komplexitätstheorie** findet am 8. Juli 2019 in Patras (Griechenland) im Rahmen der diesjährigen ICALP statt.

Betroffene Forschungsgebiete sind unter anderem: implizite Komplexitätstheorie, deduktive Formalismen, komplexitätstheoretische Aspekte der endlichen Modelltheorie und Datenbanken, Programmverifikation, Beweistheorie.

Sie können auch gerne Abstracts einreichen, die auf bereits an anderer Stelle eingereichten oder veröffentlichten Werken basieren. Es gibt keinen formalen Begutachtungsprozess.

Einreichfrist 1. Mai 2019

Benachrichtigung 20. Mai 2019

Seminar 8. Juli 2019

Programmkomitee-Leitung:

- **Lauri Hella** (Tampere University, Finland)
- **Monika Seisenberger** (Swansea University, UK)

Weitere Details finden sich auf der Webseite des Workshops:

<http://www.cs.swansea.ac.uk/lcc/>.

Stellenanzeigen

Theoretische Informatik I, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Stelle Wissenschaftl. MitarbeiterIn

Beginn ab sofort

Web [Stellenbeschreibung](#)

Kontakt [Olaf Beyersdorff](#)

The Helsinki Logic Group

Stelle 1 Promotionsstelle

Deadline 27.04.2019

Kontakt [Fan Yang](#)

Impressum

GI Fachgruppe Komplexität

Fachgruppenleitung:

Arne Meier (Sprecher, ViSdPR),

Till Tantau (stv. Sprecher),

Jörg Rothe,

Thomas Schwentick,

Jacobo Torán.

Sekretariat +49 511 762 19692

Web <https://fg-kp.gi.de>

Mail fg-kp-leitung@gi.de

Mitgliederverteilung FG KP

