

# Optimierende Compiler

LVA 185.A04, VU 2.0, ECTS 3.0  
WS 2019/2020

– Vorbesprechung –  
(Stand: 01.10.2019)

Jens Knoop



Technische Universität Wien  
Information Systems Engineering  
Compilers and Languages



A Moti-  
vation

B Lern-  
ergeb-  
nisse

C  
Ablauf

D  
Ressou-  
rcen

# Optimierende Compiler im WS 2019/20

A Motivation

B L<sup>3</sup>: Lernergebnisse, Lernaktivitäten, Leistungsnachweise

C Organisation, Ablauf

D Ressourcen

A Motivation

B Lern-  
ergeb-  
nisse

C  
Ablauf

D  
Ressour-  
cen

A

# Motivation

# Optimierende Compiler

...komplementiert und rundet die grundlegenden und weiterführenden Lehrveranstaltungen zu wichtigen **Übersetzerbau**-themen ab:

## ▶ Bachelor-Bereich

- ▶ LVA 185.A48 Übersetzerbau VU 4.0 ECTS 6.0
- ▶ LVA 185.A49 Abstrakte Maschinen VU 2.0 ECTS 3.0

## ▶ Master-Bereich

- ▶ LVA 185.A04 Optimierende Compiler VU 2.0 ECTS 3.0
- ▶ LVA 185.A50 Dynamische Übersetzer VU 2.0 ECTS 3.0
- ▶ LVA 185.A64 Übersetzer für parallele Systeme VU 2.0 ECTS 3.0
- ▶ LVA 185.416 Codegeneratoren VO 2.0 ECTS 3.0
- ▶ LVA 185.276 Analyse und Verifikation U 2.0 ECTS 3.0

# Generalthema der Lehrveranstaltung

## Übersetzertechnologien für Programmanalyse und -optimierung:

- ▶ Architekturunabhängige Analysen und Optimierungen.
- ▶ Intra- und interprozedurale (Datenfluss-) Analysen und Optimierungen für prozedurale Sprachen.
- ▶ Ausdehnungen auf objektorientierte Sprachen.
- ▶ Wirksamkeit, Komplexität, Skalierbarkeit.

## Übungen

- ▶ Papier und Bleistift-Übungen
- ▶ Praktische Übungen, (nach Gegebenheit) mit
  - AbsInt-PAG
    - Spezifikation, Generierung und Durchführung von Programmanalysen für Programme einer **WHILE**-Sprache.
  - SATIrE: Static Analysis Tool Integration Engine (TUW):  
SATIrE = AbsInt-PAG + LLNL-ROSE +...
  - LLVM (vorzugsw. in Kombination mit einem Praktikum)
- ▶ Selbsteinschätzungstests

# Lehrveranstaltungsgliederung (1)

- ▶ **Teil I: Einführung**
  - Motivation, klassische Gen/Kill- (oder: Bitvektor-) Probleme und Datenflussanalysen, einfache Optimierungen.
- ▶ **Teil II: Intraprozedurale Datenflussanalyse**
  - Intraprozeduraler DFA-Rahmen, Konstantenausbreitung und -faltung, partielle Redundanzelimination.
- ▶ **Teil III: Interprozedurale Datenflussanalyse**
  - Interprozeduraler DFA-Rahmen, Funktionaler Ansatz, Kontextinformationsansatz, Anwendungen.
- ▶ **Teil IV: Erweiterungen, andere Sprachumgebungen**
  - Alias- und Heap-Analysen, Optimierungen für objekt-orientierte Programme, Devirtualisierung von Methodenaufrufen, Entkommensanalyse (Escape Analysis).

# Lehrveranstaltungsgliederung (2)

- ▶ Teil V: Abschluss und Ausblick
  - Abschließendes, Schlussfolgerungen, aufkommende und zukünftige Trends.
- ▶ Literaturverzeichnis
- ▶ Anhänge
  - Mathematische Grundlagen
  - Flussgraph-Pragmatik
  - BCM/LCM-Basisblockimplementierungen
  - Faule Reduktion der Operatorstärke (Lazy Strength Reduction)

Also lautet der Beschluss,  
dass der Mensch was lernen muss.

*Max und Moritz*

Wilhelm Busch (1832-1908)

dt. Schriftsteller, satirischer Zeichner und Maler

## B

L<sup>3</sup>: Lernergebnisse, Lernaktivitäten,  
Leistungsnachweise

# Es war einmal: Lehrinhalte, Lehr- und Lernziele

...Ihnen das **Rüstzeug** für **Ihren Wissens- und Fertigkeitserwerb in Theorie und Praxis** an die Hand zu geben

- ▶ für ein **breites u. tiefes (Anwendungs-/Umsetzungs-/Entwicklungs-) Verständnis** der
  - Grundlagen
  - Prinzipien
  - Möglichkeiten und Grenzen

**automatischer Programmanalysen und -optimierungen**

in **Übersetzern** mit dem Ziel Entwurf und Implementierung von Programmen nicht (mehr) von

- ▶ **unnötigen Effizienzüberlegungen**

überlagern zu lassen.

# Vom Wissensvermittler\_in zum Lernbegleiter\_in



<b>früher</b>		<b>neu</b>
- Input	<b>Orientierung</b> →	- Output
- Lehrinhalte	<b>Fokus</b> →	- Lernprozess
- Wissensvermittler_in	<b>Rolle der Lehrenden</b> →	- Lernbegleiter_in
- Konsument_innen	<b>Rolle der Studierenden</b> →	- Verantwortliche für Lernprozess
- gering	<b>Transparenz</b> →	- hoch

3

# ...mit höchster Veranlassung u. Unterstützung



## 3-Säulen der Umsetzung

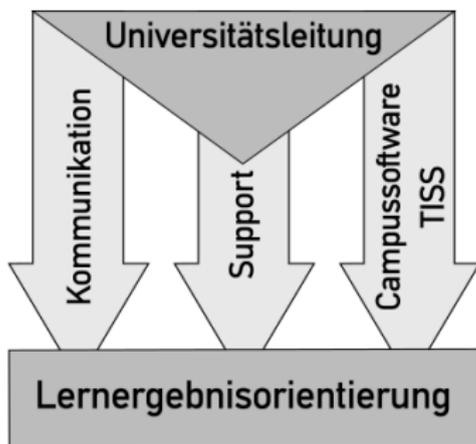


Abb.: 3-Säulen-Modell zur Einführung von Lernergebnisorientierung (TUW)

# Lernergebnisse

Nach **positiver Absolvierung** der LVA können Sie (u.a.)

1. die grundlegenden Prinzipien und Konzepte optimierender Übersetzung, ihrer theoretischen Fundierung, mathematischen Grundlagen u. v. Methoden zu ihrem empirischen u. formalen Korrektheits-, Vollständigkeits- und Optimalitätsnachweis am Beispiel typischer praxisrelevanter Programmanalysen und -transformationen optimierender Übersetzung aufzeigen, beurteilen und wertend einordnen.
2. diese Prinzipien und Konzepte auf neue Aufgaben optimierender Übersetzung übertragen und anwenden und das gewählte Vorgehen sachlich und fachlich begründen.
3. die Möglichkeiten u. Grenzen opt. Übersetzung im Spannungsfeld von Entscheidbarkeit, Skalierbarkeit u. Wirksamkeit als Ganzes, auf der Ebene von Analyse- u. Optimierungsproblemen und konkreter Analyse- u. Optimierungsverf. einordnen, beurteilen und daraus Empfehlungen für die allgemeine Anwendungsprogrammierung ableiten.

# Lernprozess: Methoden, Lernaktivitäten

...zum Erreichen der Lernergebnisse:

1. **Angeleitetes eigenständiges Erlernen und Einüben:** Durch Vorträge und umgekehrtes Klassenzimmer angeleitetes eigenständiges Erlernen und Einüben der in den Lernergebnissen beschriebenen Fähigkeiten mithilfe zur Verfügung gestellter Lehr- und Lernunterlagen, theoretischer und praktischer Übungsaufgaben und weiterer nach Bedarf selbstgewählter Materialien aus ergänzend und vertiefend vorgeschlagenen Lehrbüchern, Tutorien und wissenschaftlichen Originalarbeiten.
2. **Vorbild- und rückmeldungsgelitetes Lernen:** Präsentieren, erläutern, begründen, vergleichen, wertend gegenüberstellen eigener und fremder Aufgabenlösungen aus sachl. und fachl. Sicht in geleiteten Übungseinheiten.
3. **Selbsteinschätzungstests:** Tests zur regelmäßigen Selbsteinschätzung und Selbstreflexion des eigenen bisherigen Lernfortschritts und Lernerfolgs.

# Kompetenzbereiche (adressiert; nicht speziell unterrichtet)

## Fachliche und methodische Kompetenzen

- ▶ **Fachliche K.:** Wissen um Grundlagen, Fundierung, Umsetzung, Anwendung opt. Übersetzung in Theorie u. Praxis.
- ▶ **Methodische K.:** Sach- und fachgerechte Anwendung von Prinzipien und Konzepten optimierender Übersetzung.

## Kognitive und praktische Kompetenzen

- ▶ **Kognitive K.:** Abstraktes und mathematisch-logisches Denken, Analyse-, Verständnis- und Problemlösefähigkeit.
- ▶ **Praktische K.:** Angemessene Anwendung optimierender Übersetzungsmethoden auf konkrete Aufgabenstellungen.

## Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen

- ▶ **Soziale K.:** Kommunikations-, Präsentations-, Argumentationsfähigkeit, Team- und Gruppenfähigkeit.
- ▶ **Selbstk.:** Selbstverantwortung, Selbstorganisation, Selbstreflexion, Wissensdrang, Hartnäckigkeit, Ausdauer,...

# Leistungsnachweise, Gesamtnote

Die Freude flieht auf allen Wegen,  
der Ärger kommt uns gern entgegen.

*Balduin Bählamm, der verhinderte Dichter*

Wilhelm Busch (1832-1908)

dt. Schriftsteller, satirischer Zeichner und Maler

## Leistungsnachweise

- ▶ Acht beurteilte Abgaben theoretischer und praktischer Übungsaufgaben.
- ▶ Eine beurteilte 30-minütige mündliche Prüfung über Vorlesungs- und Übungsstoff.

## Gesamtnote

Gewichtet im Verhältnis 1 zu 1 aus Beurteilungen der

- ▶ theoretischen und praktischen Aufgabenlösungen
- ▶ mündlichen Prüfung

falls beide Teilbeurteilungen positiv sind, sonst nicht genügend.

# ECTS-Punkteaufschlüsselung

<b>Angeleitete Lernaktivitäten</b>	
– Vortrag (12 Einheiten * 0.75h)	9.0h
– Umgekehrtes Klassenzimmer (7 Einheiten * 0.75h)	5.25h
– Übungsgruppen (4 Einheiten * 0.75h)	3.0h
<b>Eigenständige Lernaktivitäten</b>	
– Selbstständiges Erarbeiten von Lernergebnissen (Vorschlag: Teil I/4.0h, Teil II/6.0h, Teil III/10.0h, Teil IV/10.0h, Teil V/4.0h, Teil VI/1.0h)	35.0h
– Speziell: Lösen der Übungsaufgaben (Vorschlag: 4 Angaben * 2.0h + 4 Angaben * 3.0h)	20.0h
– Vorbereitung auf die mündliche Prüfung	2.25h
<b>Mündliche Prüfung</b>	0.5h
<b>Summe</b>	<b>75.0h</b>

**Anmerkung:** Die Angaben Teil I bis Teil VI beziehen sich auf die entsprechenden Teile der Lehrveranstaltungsunterlagen.

A Motivation

B Lern-  
ergeb-  
nisse

C  
Ablauf

D  
Ressour-  
cen

C

## Organisation, Ablauf

# Anmeldung zur Lehrveranstaltung

## Anmeldung

- ▶ in TISS, in 2er- oder 3er-Gruppen, bis spätestens **Freitag, 11.10.2019 (12:00 Uhr)**.

Studierende mit **valider Anmeldung** erhalten

- ▶ ein Benutzerkonto auf der Maschine  
`g0.complang.tuwien.ac.at`
- ▶ Benutzerkennung und erstes Lösungswort per elektronischer Nachricht an ihre Standardadresse  
`e<Matr.Nr>@student.tuwien.ac.at`

zur **Bearbeitung** und **Abgabe** von **praktischen Übungsaufgaben**.

# Aufbau und Ablauf der Lehrveranstaltung

Vier Hauptaktivitäten (neben weiteren eigenständ. Lernaktiv.):

## 1. Angeleitete Lernaktivitäten

1.1 Vortrag (12 Termine; dienstags, 15:15 - 16:00 Uhr).

1.2 Umgekehrtes Klassenzimmer (7 Termine; dienstags, 16:00 - 16:45 Uhr).

1.3 Übungseinheiten (4 Termine; dienstags, 16:00 - 16:45 Uhr).

2. Programmier- und nichtprogrammiertechnische Übungsaufgaben mit Gruppenabgaben (8 Angaben, in etwa wöchentlich; beurteilt).

3. Selbsteinschätzungstests (7 Tests, je 1 Test pro umgekehrtem Klassenzimmertermin; ohne Beurteilung).

4. Mündliche Prüfung (30min., Termin nach Vereinbarung; beurteilt).

# Umgekehrtes Klassenzimmer, Übungseinheiten

## Umgekehrtes Klassenzimmer

1. **Selbsteinschätzungstests:** Je umgek. Klassenzimmertermin ein 15-minütiger Test (ohne Beurteilung).
2. Flexible Gestaltung nach Bedarf, z.B. Lernstoffdiskussion, Lernstoffanwendung.

## Übungseinheiten

1. **Ausgabe von Aufgaben:** Nach Veranstaltungsfortschritt in etwa wöchentlich, abrufbar auf der Webseite der LVA; insgesamt 8 Angaben, beginnend am Dienstag, den 08.10.2019.
2. **Abgabe von Lösungen:** Abgabefrist und Abgabemodus abhängig von Angabeart, verschiedene Fristen und Modi.
3. **Besprechung von Lösungen:** Vorstellung, Vergleich und Diskussion von Lösungsvorschlägen durch Teilnehmer aus sachlicher und fachlicher Sicht.

# Mündliche Prüfung

- ▶ **Dauer:** 30 Minuten.
- ▶ **Prüfungsstoff:** Lehrveranstaltungsstoff, Übungsstoff.
- ▶ **Anmeldung:** Individuelle Terminvereinbarung pro Gruppe (in der LVA, Telefon, eMail,...).

# Rückmeldungen zu Lernfortschritt, Lernerfolg

Drei Hauptformen:

## 1. Programmier- und nichtprogrammiertechnische Aufgaben

- ▶ Vorstellung, Besprechung und Diskussion ausgewählter Lösungsvorschläge in den Übungseinheiten.
- ▶ Direkte und indirekte Rückmeldung zu aktiver Beteiligung und Präsentationen in den Übungseinheiten.
- ▶ Annotierte Verbesserungen der Übungsaufgaben.

## 2. Selbsteinschätzungstests

- ▶ Vorstellung, Besprechung und Diskussion der Lösungen im Rahmen der umgekehrten Klassenzimmertermine.
- ▶ Selbstreflexion.

## 3. Mündliche Prüfung

- ▶ Nachbesprechung des Prüfungsverlaufs.

# Gesamtbeurteilung, Zeugnisausstellung

- ▶ **Positiver Abschluss:** Nur, wenn **Übung** (mindestens 50% der insgesamt möglichen Punkte) und **mündliche Prüfung** je für sich **positiv** abgeschlossen sind.
- ▶ **Gesamtbeurteilung:** Gewichtet im Verhältnis 1 zu 1 aus der Beurteilung der **Übung** und der **mündlichen Prüfung**.
- ▶ **Zeugnisausstellung:** Nach der mündlichen Prüfung.

# Voraussichtliche Termine

...für Vortrags-, umgekehrte Klassenzimmer-, Übungseinheiten:

Vortrag, umg. Klassenz./Ü.	Thema Vortrag	Thema umg. Klass-z./Ü.
Di, 01.10.2019, 15:15-16:45	Teil I, Kap. 1	n.a. / Vorbesprechung
Di, 08.10.2019, 15:15-16:45	Teil I, Kap. 2	Teil I, Kap. 1
Di, 15.10.2019, 15:15-16:45	Teil II, Kap. 3, 4	Teil II, Kap. 2
<b>Di, 22.10.2019, 15:15-16:45</b>	Teil II, Kap. 5.1-6	Übung ( <b>Terminverl. nötig</b> )
Di, 29.10.2019, 15:15-16:45	Teil II, Kap. 5.7-12	Teil II, Kap. 5.1-6
Di, 05.11.2019, 15:15-16:45	Teil II, Kap. 6, 7, 8	Übung
Di, 12.11.2019, 15:15-16:45	Teil II, Kap. 9, 10	Teil II, Kap. 5.7-12, 6-8
Di, 19.11.2019, 15:15-16:45	Teil III, Kap. 11	Übung
Di, 26.11.2019, 15:15-16:45	Teil III, Kap. 12	Teil II, Kap. 9, 10
Di, 03.12.2019, 15:15-16:45	Teil III, Kap. 13	Übung
Di, 10.12.2019, 15:15-16:45	Teil IV, Kap. 14, 15	Teil III, Kap. 11-13
Di, 17.12.2019, 15:15-16:45	Teil V, Kap. 16	Teil IV, Kap. 14, 15

**Anmerkung:** Die Teil- und Kapitelangaben beziehen sich auf die entsprechenden Teile und Kapitel der Lehrveranstaltungsunterlagen.

A Motivation

B Lern-  
ergeb-  
nisse

C  
Ablauf

D  
Ressour-  
cen

D

Ressourcen

# Lehr- und Handbücher, wissenschaftl. Arbeiten

...ausgewählte Lehr- und Handbücher:

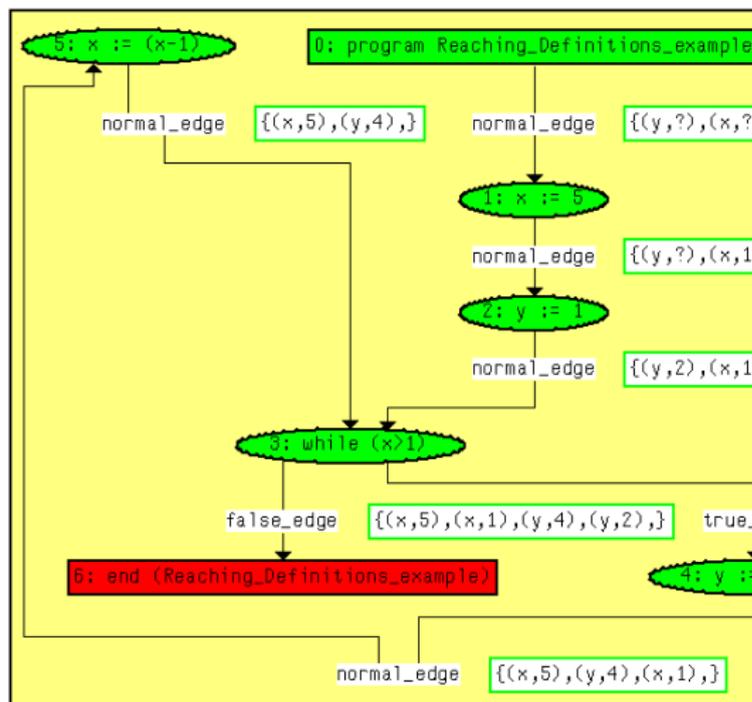
-  Flemming Nielson, Hanne Riis Nielson, Chris Hankin. *Principles of Program Analysis*. Springer-V., 2. Auflage, 452 Seiten, ISBN 3-540-65410-0, 2005.
-  Y. N. Srikant, Priti Shankar. *The Compiler Design Handbook: Optimizations & Machine Code Generation*, CRC Press, 1. Auflage, 928 Seiten, ISBN 084931240X, 2002.
-  Keith D. Cooper, Linda Torczon. *Engineering a Compiler*. Morgan Kaufmann, 801 Seiten, ISBN 155860698X, 2003.
-  Steven S. Muchnick. *Advanced Compiler Design and Implementation*. Morgan Kaufmann, 856 Seiten, ISBN 1558603204, 1997.

...weitere detaillierte Literaturhinweise im Verlauf der Lehrveranstaltung und in den Vorlesungsunterlagen.

# Werkzeuge

- AbsInt-PAG – Programm-Analyse-Generator: Zur Spezifikation, Generierung und Visualisierung von Programmanalysen und deren Ergebnissen.

```
program Reaching_Definitions
[begin]0
  [x := 5]1
  [y := 1]2
  while [(x>1)]3
  do (
    [y := (x*y)]4
    [x := (x-1)]5
  )
[end]6
```



# Weitere Werkzeuge

- ▶ Static Analysis and Tool Integration Engine  
SATIrE = AbsInt-PAG + LLNL-ROSE +...
- ▶ Low Level Virtual Machine Compiler Infrastructure  
LLVM

...aufgrund hoher Lernkurve bevorzugt im Zusammenhang mit einem **Praktikum** oder einer **(Bachelor-)/Master-Arbeit**.

# Wichtige wiss. Zeitschriften u. Konferenzen (1)

...zur Publikation von Forschungsergebnissen im Umfeld optimierender Übersetzung sind besonders:

## ► Zeitschriftenreihen:

- ACM Transactions of Programming Languages and Systems (TOPLAS), seit 1979.  
<https://toplas.acm.org/>
- ACM Transactions of Architecture and Code Optimization (TACO), seit 2004. <https://taco.acm.org/>
- Software: Practice and Experience (SPE), Wiley, seit 1971.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/1097024x>
- ...

# Wichtige wiss. Zeitschriften u. Konferenzen (2)

## ► Konferenz- und Symposiumsreihen:

- ACM SIGPLAN International Conference Series on Principles of Programming Languages (POPL), jährlich seit 1973.

<http://www.sigplan.org/Conferences/POPL>

- ACM SIGPLAN International Conference Series on Programming Language Design and Implementation (PLDI), jährlich seit 1980.

<https://www.sigplan.org/Conferences/PLDI/>

- ACM/IEEE Symposium Series on Code Generation and Optimization (CGO), jährlich seit 2003.

<https://dl.acm.org/event.cfm?id=RE256>

- ACM SIGPLAN Conference Series on Compiler Construction (CC), jährlich seit 1992.

<https://cc-conference.github.io/20/>

- ...

# Anlaufstellen

...bei Fragen und Problemen:

- ▶ Webseite der LVA:  
[www.complang.tuwien.ac.at/knoop/oue185A04.html](http://www.complang.tuwien.ac.at/knoop/oue185A04.html)
- ▶ Vor, während und nach Vortrag, umgekehrtem Klassenzimmer, Übung.

## Vorlesungsmaterialien, Aufgaben, Termine

Denn was man schwarz auf weiß besitzt,  
kann man getrost nach Hause tragen.

Faust. Eine Tragödie.

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832)

dt. Dichter und Naturforscher

- ▶ Webseite der Lehrveranstaltung:

[www.complang.tuwien.ac.at/knoop/oue185A04\\_ws1920.html](http://www.complang.tuwien.ac.at/knoop/oue185A04_ws1920.html)

# Interesse an gefördertem Auslandsstudium?

Die [Erasmus/LLP-Programmlinie](#) der EU bietet eine Vielzahl lohnender Möglichkeiten, z.B.

- ▶ Linköping University, Schweden
- ▶ Aalto University, Finnland
- ▶ The University of Copenhagen, Dänemark
- ▶ Universität Halle-Wittenberg, Deutschland
- ▶ Universität Paderborn, Deutschland
- ▶ Universidad Politècnica de València, Spanien
- ▶ ...

Mehr dazu: [www.complang.tuwien.ac.at/knoop/erasmus](http://www.complang.tuwien.ac.at/knoop/erasmus)

# Zum Vorbesprechungsabschluss

Dabei sein ist  
80 Prozent des Erfolges.

Woody Allen (\* 1935)  
amerik. Schauspieler und Regisseur

...wünsche ich Ihnen viel (Lern-) Erfolg für diese Lehrveranstaltung und dass Sie von ihr profitieren, auch langfristig!

**Nicht zuletzt:**

Die Veranstaltung lebt mit Ihnen! Ihre Rückmeldungen, Anregungen, Verbesserungsvorschläge sind willkommen! Natürlich auch, wenn Ihnen etwas gut gefallen hat!