5 Perspektiven

Herausforderungen:

- neue Hardware;
- neue Programmiersprachen;
- neue Anwendungen für Compiler-Technologie :-)

5.1 Hardware

Die Code-Erzeugung soll die Möglichkeiten der Hardware optimal ausnutzen ...

Herausforderungen:

Neue Hardware:

→ Speicher-Hierarchie mit unterschiedlich schnellen Caches für verschiedene Zwecke;

→ On-Board Nebenläufigkeit mit Pipelines, mehreren ALUs, spekulativer Parallelität, ...

→ Interaktion mit mächtigen Zusatzkomponenten wie Graphik-Karten ...

Eingeschränkte Hardware:

z.B. auf Chip-Karten, in Kühlschränken, Bremsanlagen, Steuerungen ...

$\Longrightarrow$ ubiquitous Computing

- $\longrightarrow$ minimaler Energie-Verbrauch :-)
- $\longrightarrow$ minimaler Platz :-)
- $\longrightarrow$ Echtzeit-Anforderungen;
- $\longrightarrow$ Korrektheit;
- $\longrightarrow$ Fehler-Toleranz.

5.2 Programmiersprachen

Spezielle Features:

- mobiler Code;
- Nebenläufigkeit;
- graphische Benutzeroberflächen;
- Sicherheits-Komponenten;
- neue / bessere Typsysteme;
- Unterstützung für Unicode und XML.

Neue Programmiersprachen:

- XSLT;
- XQuery;
- Web-Services;
- anwendungs-spezifische Sprachen ...

5.3 Programmierumgebungen

Diverse Programmierhilfsmittel benutzen Compiler-Technologie ...

- syntax-gesteuerte Editoren;
- Programm-Visualisierung;
- automatische Programm-Dokumentation;
- partielle Codeerzeugung aus UML-Modellen;
- UML-Modell-Extraktion $\Longrightarrow$ reverse engineering
- Konsistenz-Überprüfungen, Fehlersuche;
- Portierung.

5.4 Neue Anforderungen

- Zuverlässigkeit
- Sicherheit

... im Rest der Vorlesung behandeln wir ausgewählte Themen, die bei der Code-Erzeugung für reale Maschinen relevant sind. Auch hier spielt die Idee der Generierung einzelner Komponenten eine wichtige Rolle:

6 Instruktions-Selektion

Problem:

- unregelmäßige Instruktionssätze ...
- mehrere Adressierungsarten, die evt. mit arithmetischen Operationen kombiniert werden können;
- Register für unterschiedliche Verwendungen ...

Beispiel: Motorola MC68000

Dieser einfachste Prozessor der 680x0-Reihe besitzt

- 8 Daten- und 8 Adressregister;
- eine Vielzahl von Adressierungsarten ...

Notation	Beschreibung	Semantik
D_n	Datenregister direkt	D_n
A_n	Adressregister direkt	A_n
(A_n)	Adressregister indirekt	$M[A_n]$
$d(A_n)$	Adressregister indirekt mit Displacement	$M[A_n + d]$
$d(A_n, D_m)$	Adressregister indirekt mit Index und Displacement	$M[A_n + D_m + d]$
x	Absolut kurz	$M[x]$
x	Absolut lang	$M[x]$
$\#x$	Unmittelbar	x

- Der MC68000 ist eine 2-Adress-Maschine, d.h. ein Befehl darf maximal 2 Adressierungen enthalten. Die Instruktion:

  $$\mathsf{add}\ \ D_1\ \ D_2$$

  addiert die Inhalte von D_1 und D_2 und speichert das Ergebnis nach und D_2 :-)

- Die meisten Befehle lassen sich auf Bytes, Wörter (2 Bytes) oder Doppelwörter (4 Bytes) anwenden.

  Das unterscheiden wir durch Anhängen von .B, .W, .D (Default: .W)

- Die Ausführungszeit eines Befehls ergibt sich (i.a.) aus den Kosten der Operation plus den Kosten für die Adressierung der Operanden ...

	Adressierungsart	Byte / Wort	Doppelwort
D_n	Datenregister direkt	0	0
A_n	Adressregister direkt	0	0
(A_n)	Adressregister indirekt	4	8
$d(A_n)$	Adressregister indirekt mit Displacement	8	12
$d(A_n, D_m)$	Adressregister indirekt mit Index und Displacement	10	14
x	Absolut kurz	8	12
x	Absolut lang	12	16
$\#x$	Unmittelbar	4	8

Beispiel:

Die Instruktion:	move.B $8(A_1, D_1.\mathrm{W}), D_5$
benötigt:	$4 + 10 + 0 = 14$ Zyklen

Alternativ könnten wir erzeugen:

adda	$\#8, A_1$	Kosten:	$8+8+0=16$
adda	$D_1.\mathrm{W}, A_1$	Kosten:	$8+0+0=8$
move.B	$(A_1), D_5$	Kosten:	$4+4+0=8$

mit Gesamtkosten 32 oder:

adda	$D_1.\mathrm{W}, A_1$	Kosten:	$8+0+0=8$
move.B	$8(A_1), D_5$	Kosten:	$4+8+0=12$

mit Gesamtkosten 20 :-)

Achtung:

- Die verschieden Code-Sequenzen sind im Hinblick auf den Speicher und das Ergebnis äquivalent !
- Sie unterscheiden sich im Hinblick auf den Wert des Registers A_1 sowie die gesetzten Bedingungs-Codes !!
- Ein schlauer Instruktions-Selektor muss solche Randbedingungen berücksichtigen :-)

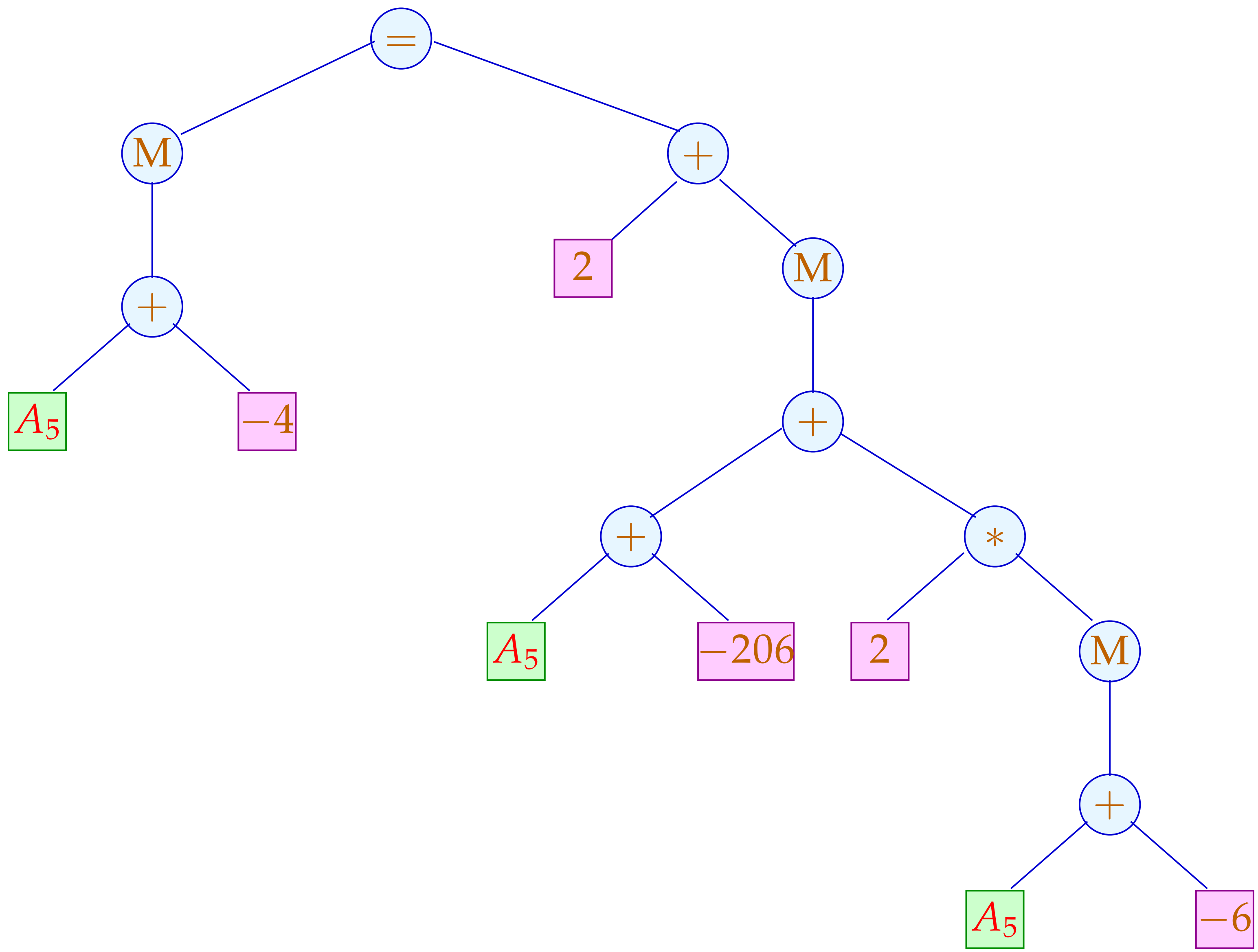
Etwas größeres Beispiel:

$$\text{int } b, \; i, \; a[100];$$
$$b = 2 + a[i];$$

Nehmen wir an, die Variablen werden relativ zu einem Framepointer A_5 mit den Adressen $-4, -6, -206$ adressiert. Dann entspricht der Zuweisung das Stück Zwischen-Code:

$$M[A_5 - 4] = 2 + M[A_5 - 206 + 2 \cdot M[A_5 - 6]];$$

Das entspricht dem Syntaxbaum:

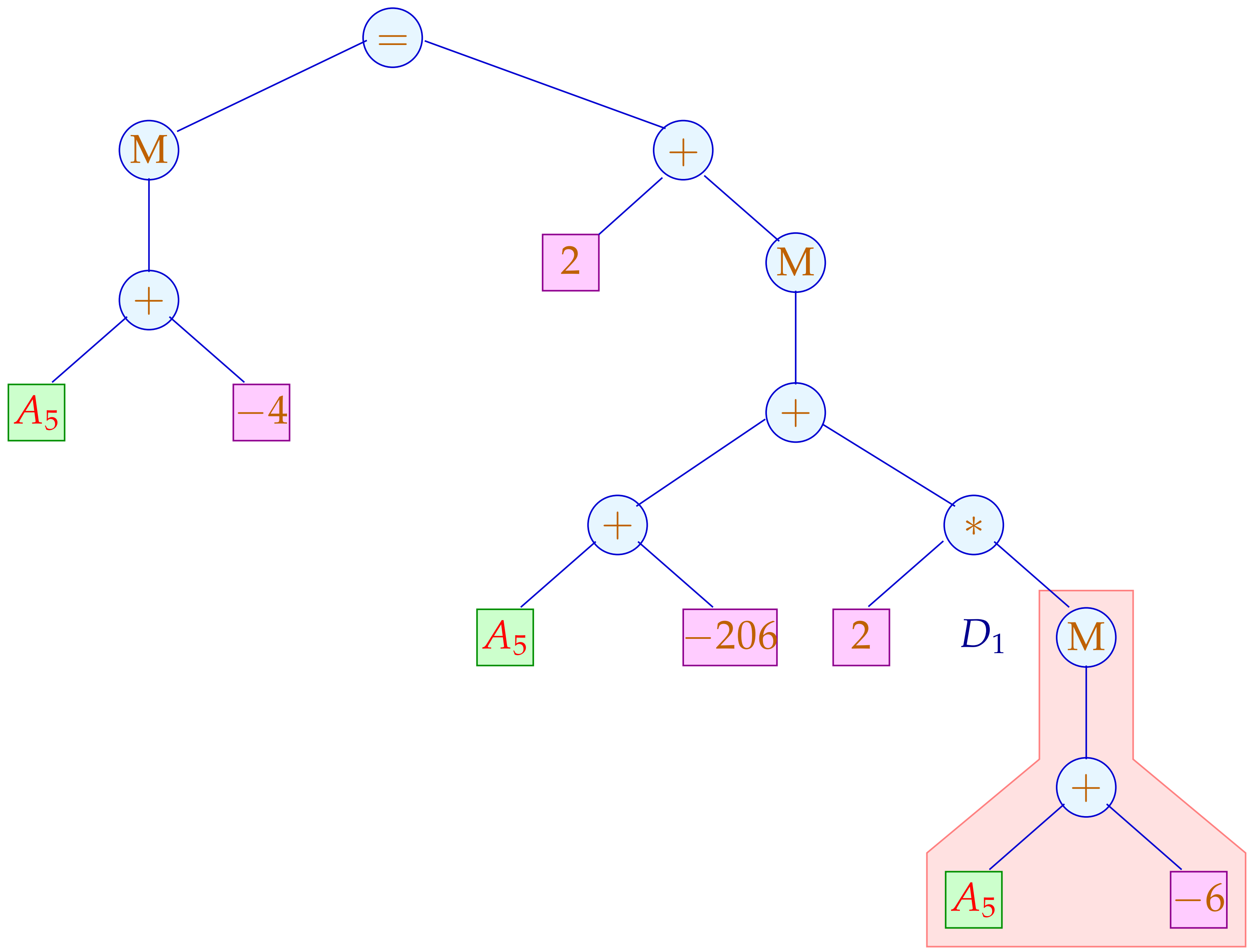


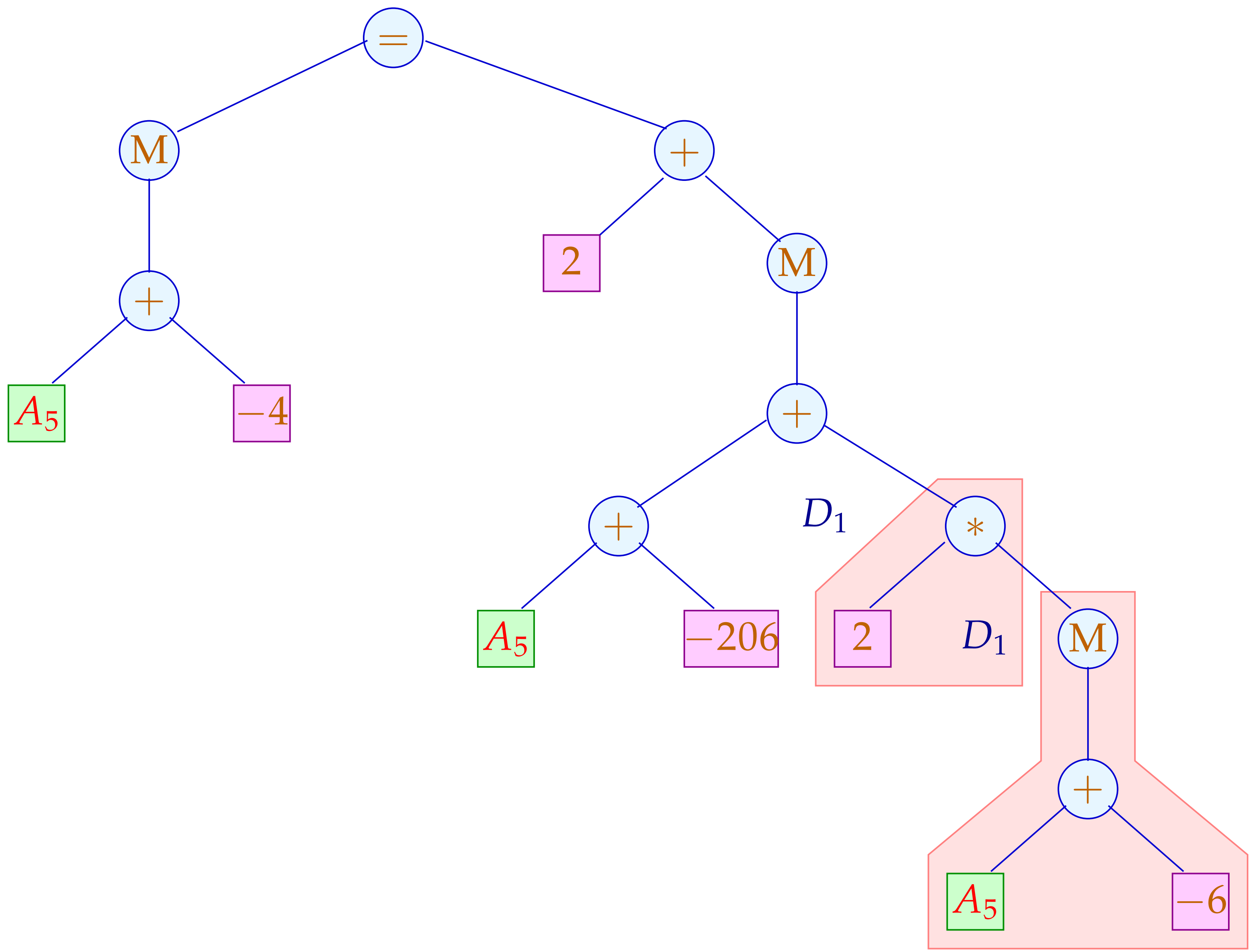
=
M
+
A_5
−4
+
2
M
+
+
A_5
−206
*
2
M
+
A_5
−6

Eine mögliche Code-Sequenz:

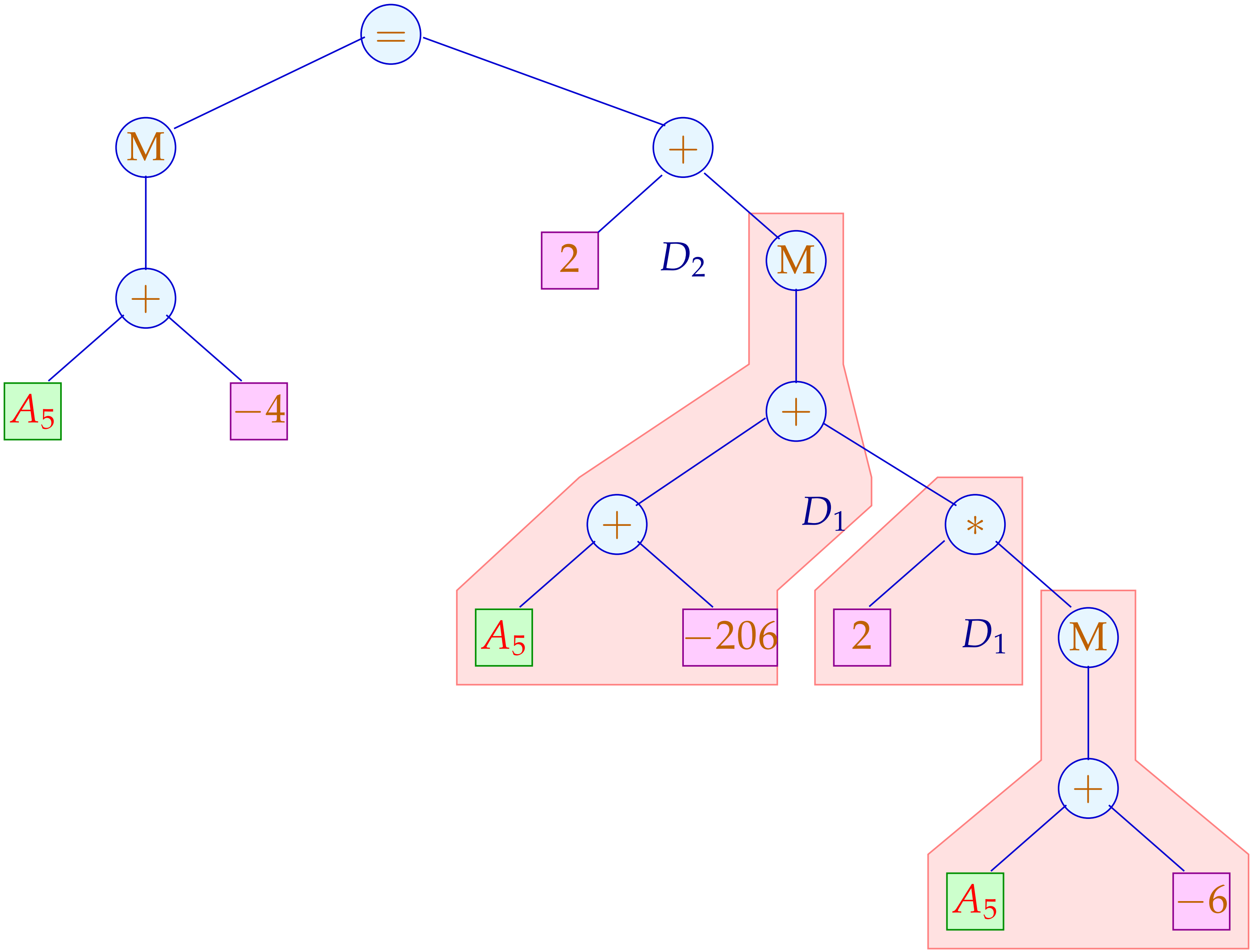
move	$-6(A_5),\ D_1$	Kosten:	12
add	$D_1,\ D_1$	Kosten:	4
move	$-206(A_5, D_1),\ D_2$	Kosten:	14
addq	$\#2,\ D_2$	Kosten:	4
move	$D_2,\ -4(A_5)$	Kosten:	12

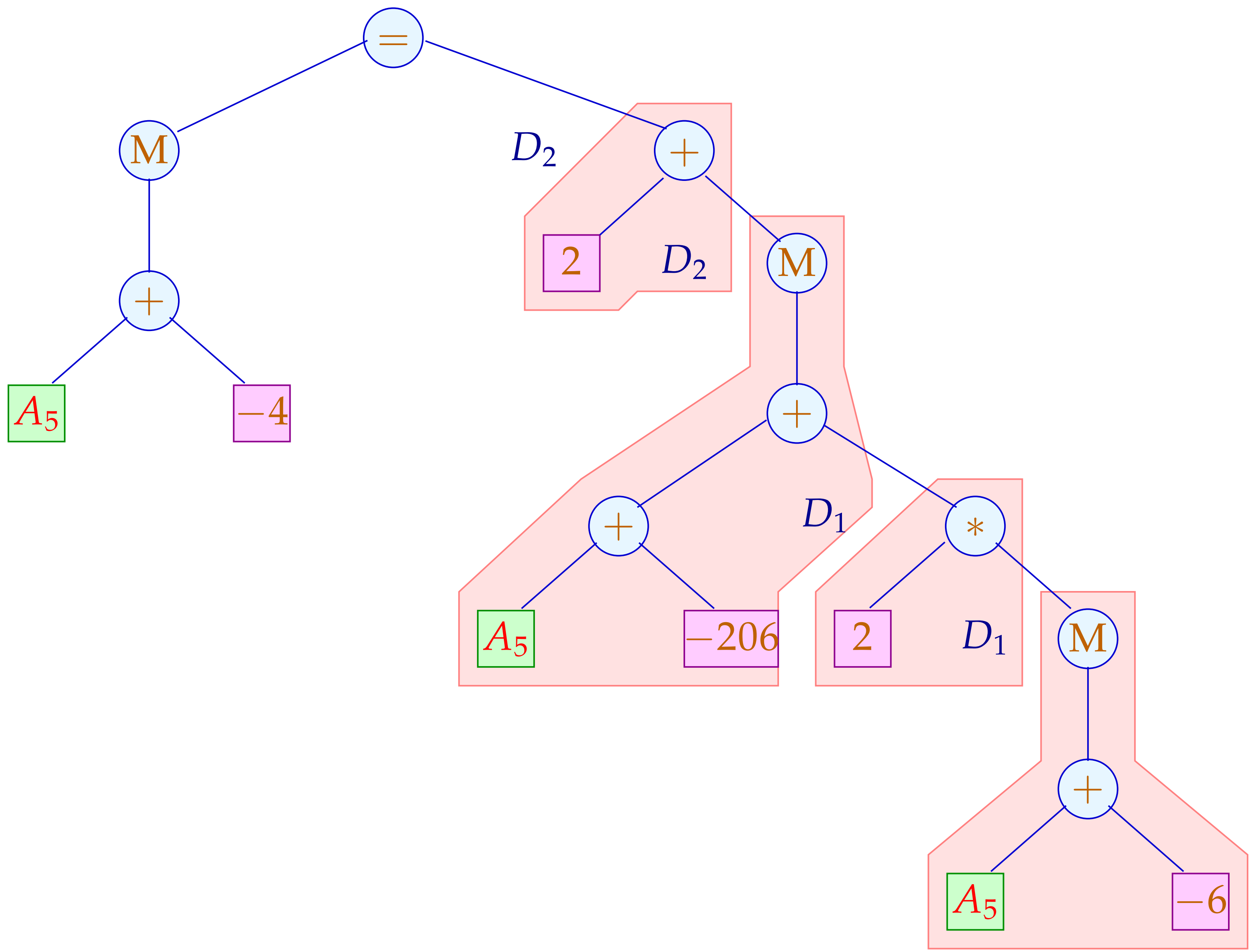
Gesamtkosten : 46

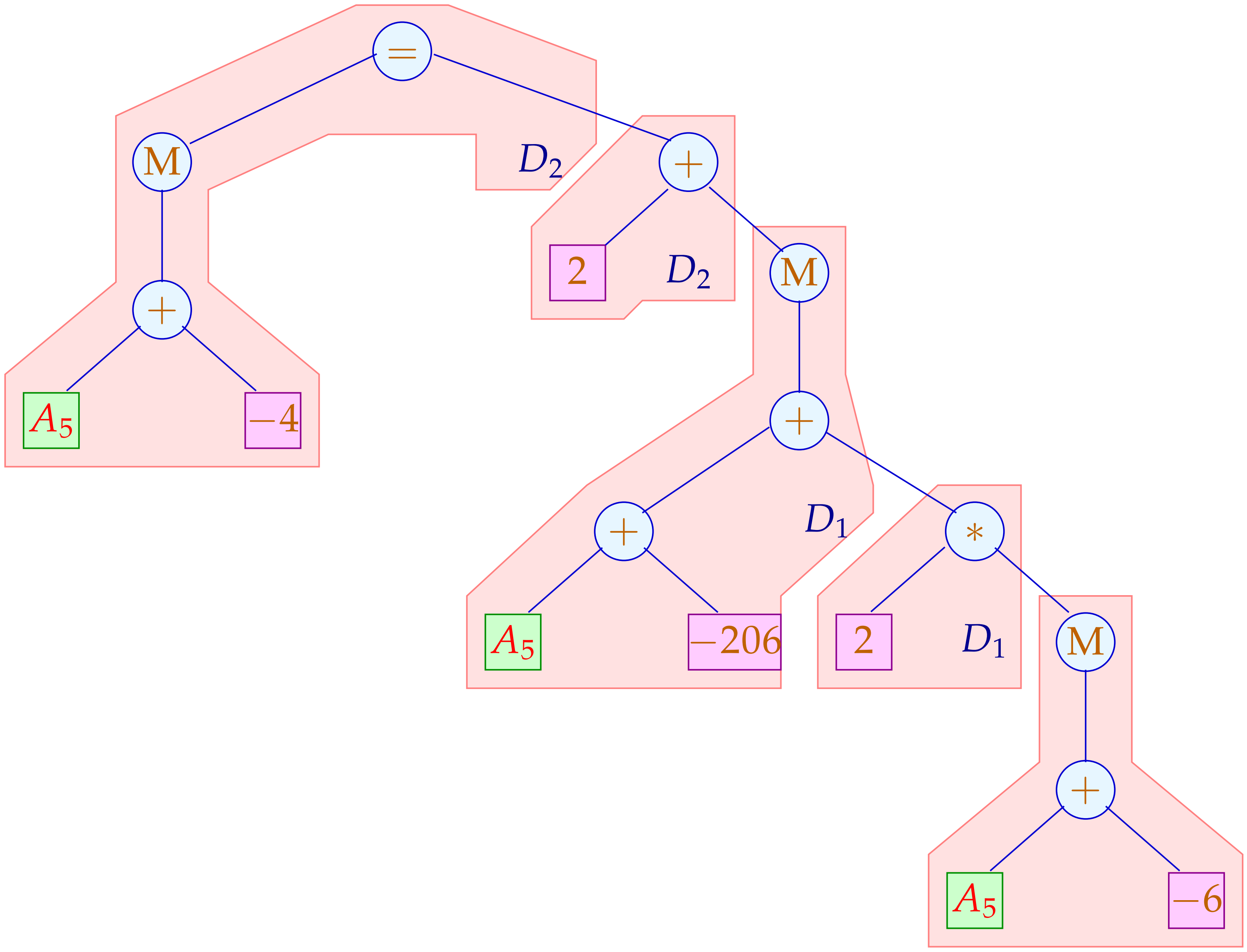

=
M
+
2
M
+
A_5
−4
+
*
A_5
−206
2
D_1
M
+
A_5
−6



=
M
+
2
M
+
A5
−4
+
*
D1
A5
−206
2
D1
M
+
A5
−6


=
M
+
A_5
-4
+
2
D_2
M
+
+
A_5
-206
D_1
*
2
D_1
M
+
A_5
-6


=
M
+
A_5
-4
D_2
+
2
D_2
M
+
+
D_1
*
A_5
-206
2
D_1
M
+
A_5
-6


=
M
D_2
+
2
D_2
+
M
A_5
−4
+
D_1
+
∗
A_5
−206
2
D_1
M
+
A_5
−6

Eine alternative Code-Sequenz:

move.L	A_5, A_1	Kosten:	4
adda.L	$\#-6, A_1$	Kosten:	12
move	$(A_1), D_1$	Kosten:	8
mulu	$\#2, D_1$	Kosten:	44
move.L	A_5, A_2	Kosten:	4
adda.L	$\#-206, A_2$	Kosten:	12
adda.L	D_1, A_2	Kosten:	8
move	$(A_2), D_2$	Kosten:	8
addq	$\#2, D_2$	Kosten:	4
move.L	A_5, A_3	Kosten:	4
adda.L	$\#-4, A_3$	Kosten:	12
move	$D_2, (A_3)$	Kosten:	8

Gesamtkosten : 124

Diskussion:

→ Die Folge ohne komplexe Adressierungsarten ist erheblich teurer :-(

→ Sie benötigt auch mehr Hilfsregister :-(

→ Die beiden Folgen sind nur äquivalent im Hinblick auf den Speicher — die Register haben anschließend verschiedene Inhalte ...

→ Eine korrekte Folge von Instruktionen kann als eine Pflasterung des Syntaxbaums aufgefasst werden !!!

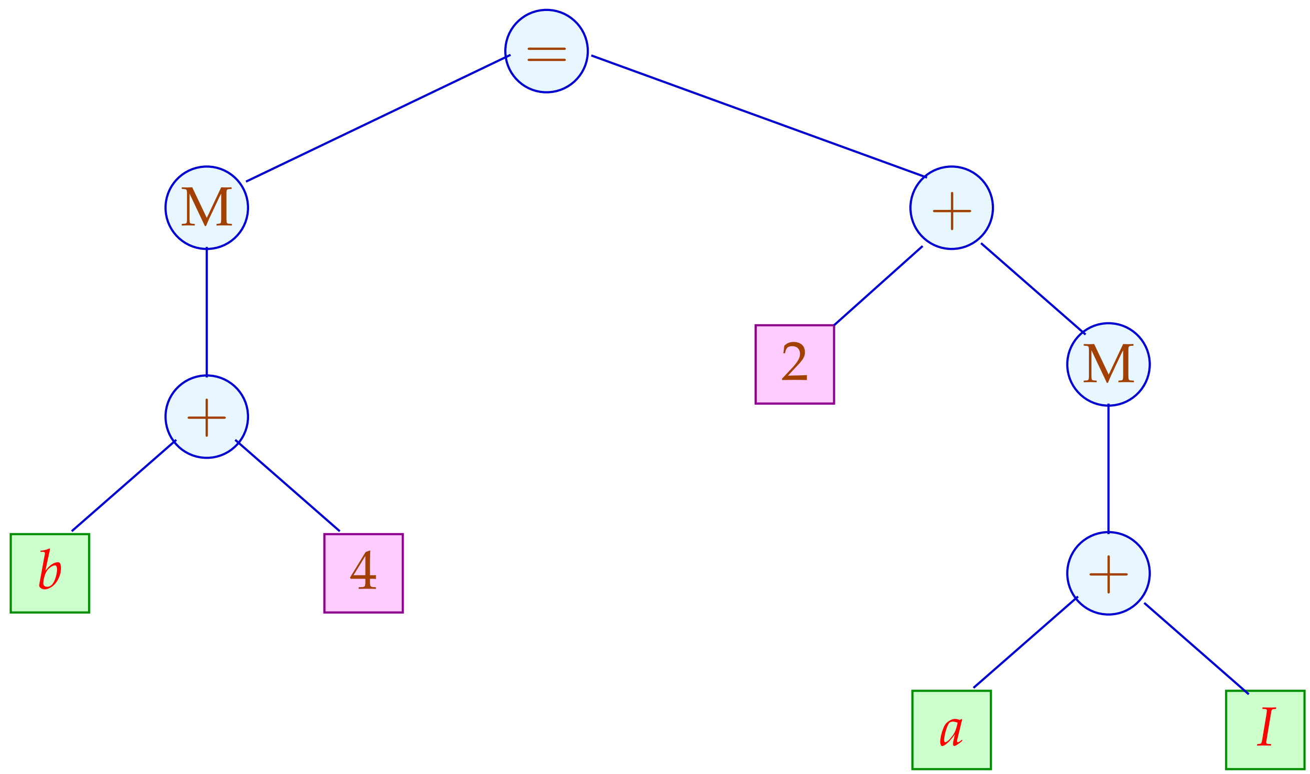
Genereller Ansatz:

- Wir betrachten Basis-Blöcke vor der Registerverteilung:

$$A = a + I;$$
$$D_1 = M[A];$$
$$D_2 = D_1 + 2;$$
$$B = b + 4;$$
$$M[B] = D_2$$

- Wir fassen diese als Folge von Bäumen auf. Wurzeln:
  - Werte, die mehrmals verwendet werden;
  - Variablen, die am Ende des Blocks lebendig sind;
  - Stores.

... im Beispiel:



Die Hilfsvariablen A, B, D_1, D_2 sind vorerst verschwunden :-)

Idee:

Beschreibe den Effekt einer Instruktion als Ersetzungsregel auf Bäumen:

Die Instruktion: $R = M[A + 2 + D];$

entspricht zum Beispiel: