Überblick

- Einleitung
  - Lit., Motivation, Geschichte, v.Neumann-Modell, VHDL
- Befehlsschnittstelle
- Mikroarchitektur
- Speicherarchitektur
- Ein-/Ausgabe
- Multiprozessorsysteme, ...

Kap.3
Mikroarchitektur

Prozessoren,
interne Sicht

- **3.1** elementare Datentypen, Operationen und ihre Realisierung (siehe 2.1)
- **3.2** Mikroprogrammierung
- **3.3** Einfache Implementierung von MIPS
- **3.4** Pipelining

3.2 Mikroprogrammierung

3.2 Mikroprogrammierung

- Realisierung eines Befehlssatzes auf einer Hardware-Struktur
- Befehlsabarbeitung bei CISC und ihre Folgen

Zur Erinnerung: CISC

Zur Erinnerung: CISC

- Charakterisierung eines CISC Rechners

Zur Erinnerung: CISC

- Charakterisierung eines CISC Rechners
  - grosser Satz von Maschinenbefehle, zum Teil auch Maschinenbefehle, die recht komplexe Operationen auszuführen haben

Zur Erinnerung: CISC

- Charakterisierung eines CISC Rechners
  - grosser Satz von Maschinenbefehle, zum Teil auch Maschinenbefehle, die recht komplexe Operationen auszuführen haben
  - ➡ sehr unterschiedliche Ausführungszeiten der verschiedenen Maschinenbefehle

Zur Erinnerung: CISC

- Charakterisierung eines CISC Rechners
  - grosser Satz von Maschinenbefehle, zum Teil auch Maschinenbefehle, die recht komplexe Operationen auszuführen haben
  - ➡ sehr unterschiedliche Ausführungszeiten der verschiedenen Maschinenbefehle
  - ➡ Steuerung nicht durch Hardware, sondern durch ein Mikroprogramm, das in einem ROM auf dem Prozessor abgespeichert ist.

Zur Erinnerung: CISC

- Charakterisierung eines CISC Rechners
  - grosser Satz von Maschinenbefehle, zum Teil auch Maschinenbefehle, die recht komplexe Operationen auszuführen haben
  - ➡ sehr unterschiedliche Ausführungszeiten der verschiedenen Maschinenbefehle
  - ➡ Steuerung nicht durch Hardware, sondern durch ein Mikroprogramm, das in einem ROM auf dem Prozessor abgespeichert ist.
- Erster moderner Rechner (IBM 369) war ein CISC Rechner

Zur Erinnerung: CISC

- Charakterisierung eines CISC Rechners
  - grosser Satz von Maschinenbefehle, zum Teil auch Maschinenbefehle, die recht komplexe Operationen auszuführen haben
  - ➡ sehr unterschiedliche Ausführungszeiten der verschiedenen Maschinenbefehle
  - ➡ Steuerung nicht durch Hardware, sondern durch ein Mikroprogramm, das in einem ROM auf dem Prozessor abgespeichert ist.
- Erster moderner Rechner (IBM 369) war ein CISC Rechner
- **Ein "kleiner" CISC-Rechner zur Illustration**

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)
- Die Maschinensprache

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)
- Die Maschinensprache
  - 0000xxxxxxxxxxx LODD ac:=mem[x] // 12-Bit Adressenbus

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache
  - 0000xxxxxxxxxxx LODD ac:=mem[x] // 12-Bit Adressenbus
  - 0001xxxxxxxxxxx STOD mem[x]:=ac

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache
  - 0000xxxxxxxxxxx LODD ac:=mem[x] // 12-Bit Adressenbus
  - 0001xxxxxxxxxxx STOD mem[x]:=ac
  - 0010xxxxxxxxxxx ADDD ac:=ac+mem[x]

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	
0100xxxxxxxxxxx	JPOS	if ac>0 then pc:=x	

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	
0100xxxxxxxxxxx	JPOS	if ac>0 then pc:=x	
0101xxxxxxxxxxx	JZER	if ac=0 then pc:=x	

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	
0100xxxxxxxxxxx	JPOS	if ac>0 then pc:=x	
0101xxxxxxxxxxx	JZER	if ac=0 then pc:=x	
0110xxxxxxxxxxx	JUMP	pc:=x	

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	
0100xxxxxxxxxxxx	JPOS	if ac>0 then pc:=x	
0101xxxxxxxxxxxx	JZER	if ac=0 then pc:=x	
0110xxxxxxxxxxxx	JUMP	pc:=x	
0111xxxxxxxxxxxx	LOCO	ac:=x (0≤x≤4095)	

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	
0100xxxxxxxxxxxx	JPOS	if ac>0 then pc:=x	
0101xxxxxxxxxxxx	JZER	if ac=0 then pc:=x	
0110xxxxxxxxxxxx	JUMP	pc:=x	
0111xxxxxxxxxxxx	LOCO	ac:=x (0≤x≤4095)	
1000xxxxxxxxxxxx	LODL	ac:=mem[sp+x]	

Maschinen(spiel)sprache (Teil A)

- Drei für den Benutzer sichtbare Register:
  - ac (Akkumulator)
  - sp (Stackpointer)
  - pc (Befehlszähler)

- Die Maschinensprache

0000xxxxxxxxxxxx	LODD	ac:=mem[x]	// 12-Bit Adressenbus
0001xxxxxxxxxxxx	STOD	mem[x]:=ac	
0010xxxxxxxxxxxx	ADDD	ac:=ac+mem[x]	
0011xxxxxxxxxxxx	SUBD	ac:=ac-mem[x]	
0100xxxxxxxxxxxx	JPOS	if ac>0 then pc:=x	
0101xxxxxxxxxxxx	JZER	if ac=0 then pc:=x	
0110xxxxxxxxxxxx	JUMP	pc:=x	
0111xxxxxxxxxxxx	LOCO	ac:=x (0≤x≤4095)	
1000xxxxxxxxxxxx	LODL	ac:=mem[sp+x]	
1001xxxxxxxxxxxx	STOL	mem[x+sp]:=ac	

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

- 1010xxxxxxxxxxx ADDL ac:=ac+mem[sp+x]

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

- 1010xxxxxxxxxxxx ADDL ac:=ac+mem[sp+x]
- 1011xxxxxxxxxxxx SUBL ac:=ac-mem[sp+x]

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

- 1010xxxxxxxxxxxx ADDL ac:=ac+mem[sp+x]
- 1011xxxxxxxxxxxx SUBL ac:=ac-mem[sp+x]
- 1100xxxxxxxxxxxx JNEG if ac< 0 then pc:=x;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111010.....	PUSH	sp:=sp-1; mem[sp]:=ac;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111010.....	PUSH	sp:=sp-1; mem[sp]:=ac;
1111011.....	POP	ac:=mem[sp]; ap:=sp+1;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111010.....	PUSH	sp:=sp-1; mem[sp]:=ac;
1111011.....	POP	ac:=mem[sp]; ap:=sp+1;
1111100.....	RTN	pc:=mem[sp]; sp:=sp+1;

Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111010.....	PUSH	sp:=sp-1; mem[sp]:=ac;
1111011.....	POP	ac:=mem[sp]; ap:=sp+1;
1111100.....	RTN	pc:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111101.....	SWAP	tmp:=sp; sp:=ac; ac:=tmp;

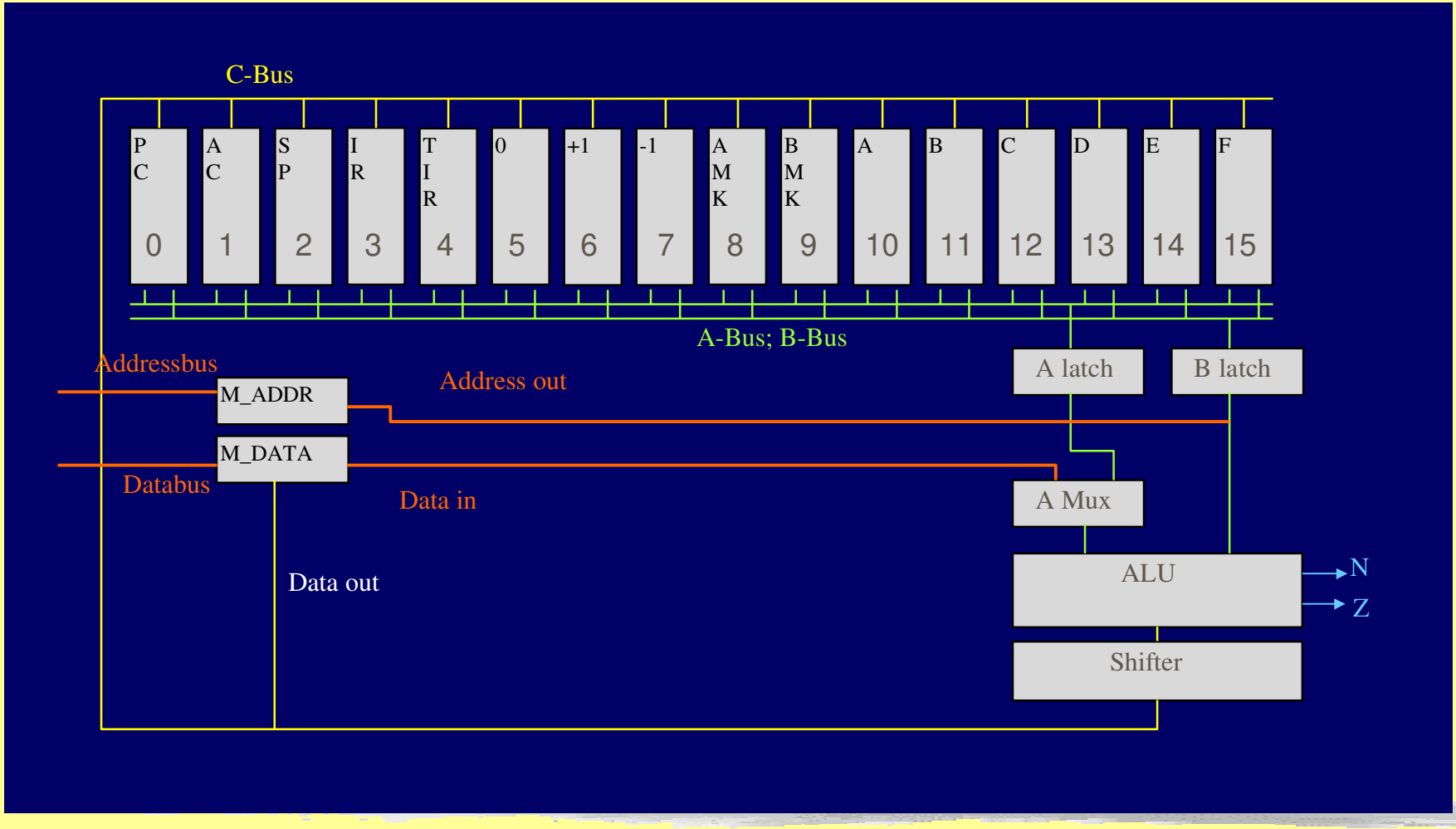
Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111010.....	PUSH	sp:=sp-1; mem[sp]:=ac;
1111011.....	POP	ac:=mem[sp]; ap:=sp+1;
1111100.....	RTN	pc:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111101.....	SWAP	tmp:=sp; sp:=ac; ac:=tmp;
1111110..yyyyyyyy	INSP	sp:=sp+y; (0≤y≤255)

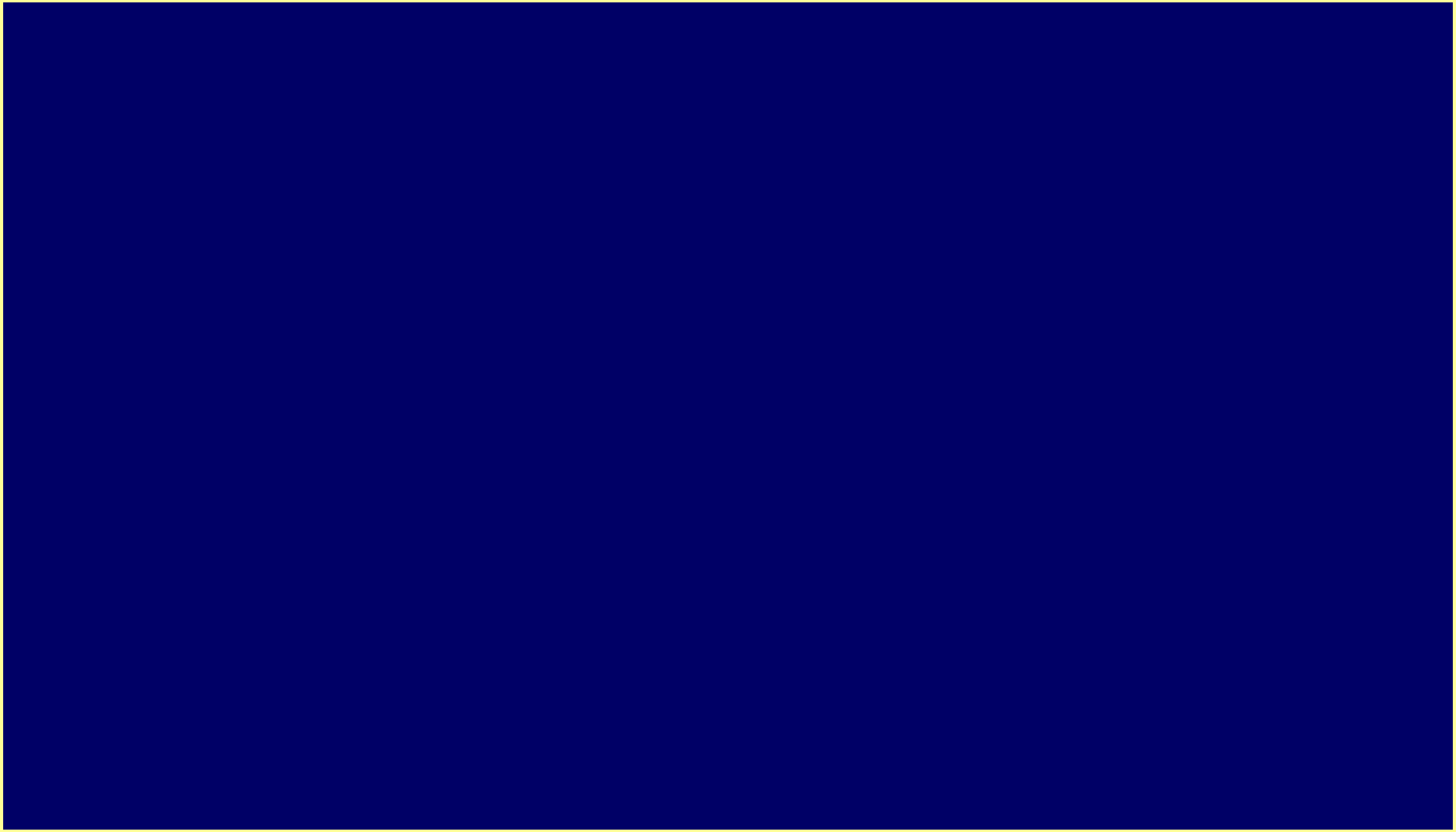
Maschinen(spiel)sprache (Teil B)

1010xxxxxxxxxxx	ADDL	ac:=ac+mem[sp+x]
1011xxxxxxxxxxx	SUBL	ac:=ac-mem[sp+x]
1100xxxxxxxxxxx	JNEG	if ac< 0 then pc:=x;
1101xxxxxxxxxxx	JNEZ	if ac≠ 0 then pc:=x;
1110xxxxxxxxxxx	CALL	sp:=sp-1; mem[sp]:=pc; pc:=x;
1111000.....	PSHI	sp:=sp-1; mem[sp]:=m[ac];
1111001.....	POPI	mem[ac]:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111010.....	PUSH	sp:=sp-1; mem[sp]:=ac;
1111011.....	POP	ac:=mem[sp]; ap:=sp+1;
1111100.....	RTN	pc:=mem[sp]; sp:=sp+1;
1111101.....	SWAP	tmp:=sp; sp:=ac; ac:=tmp;
1111110..yyyyyyyy	INSP	sp:=sp+y; (0≤y≤255)
1111111..yyyyyyyy	DESP	sp:=sp-y; (0≤y≤255)

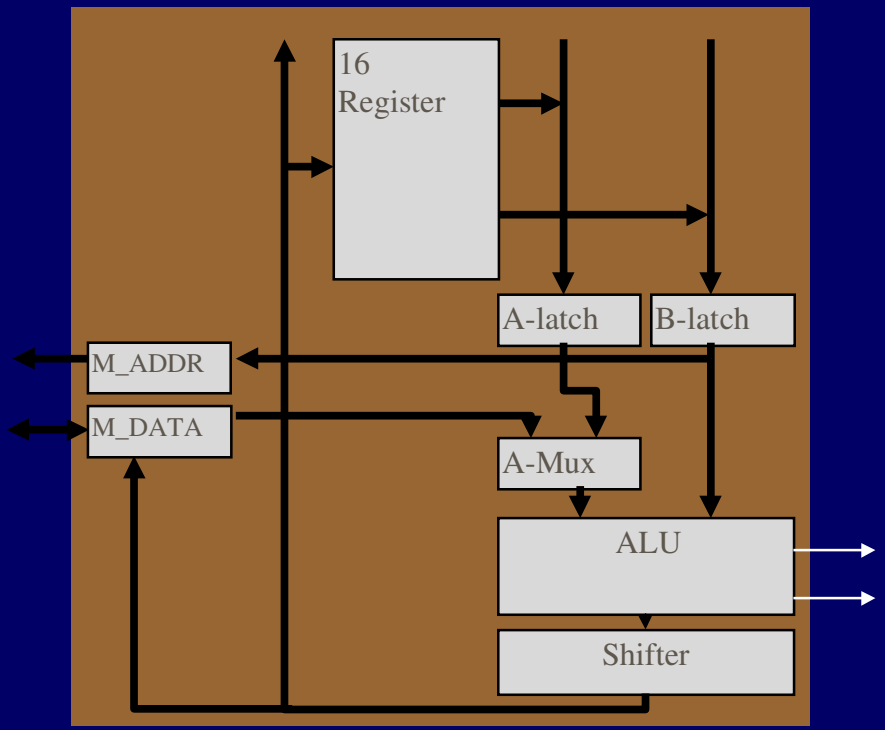
Hardware eines Spielrechners: Datenpfad



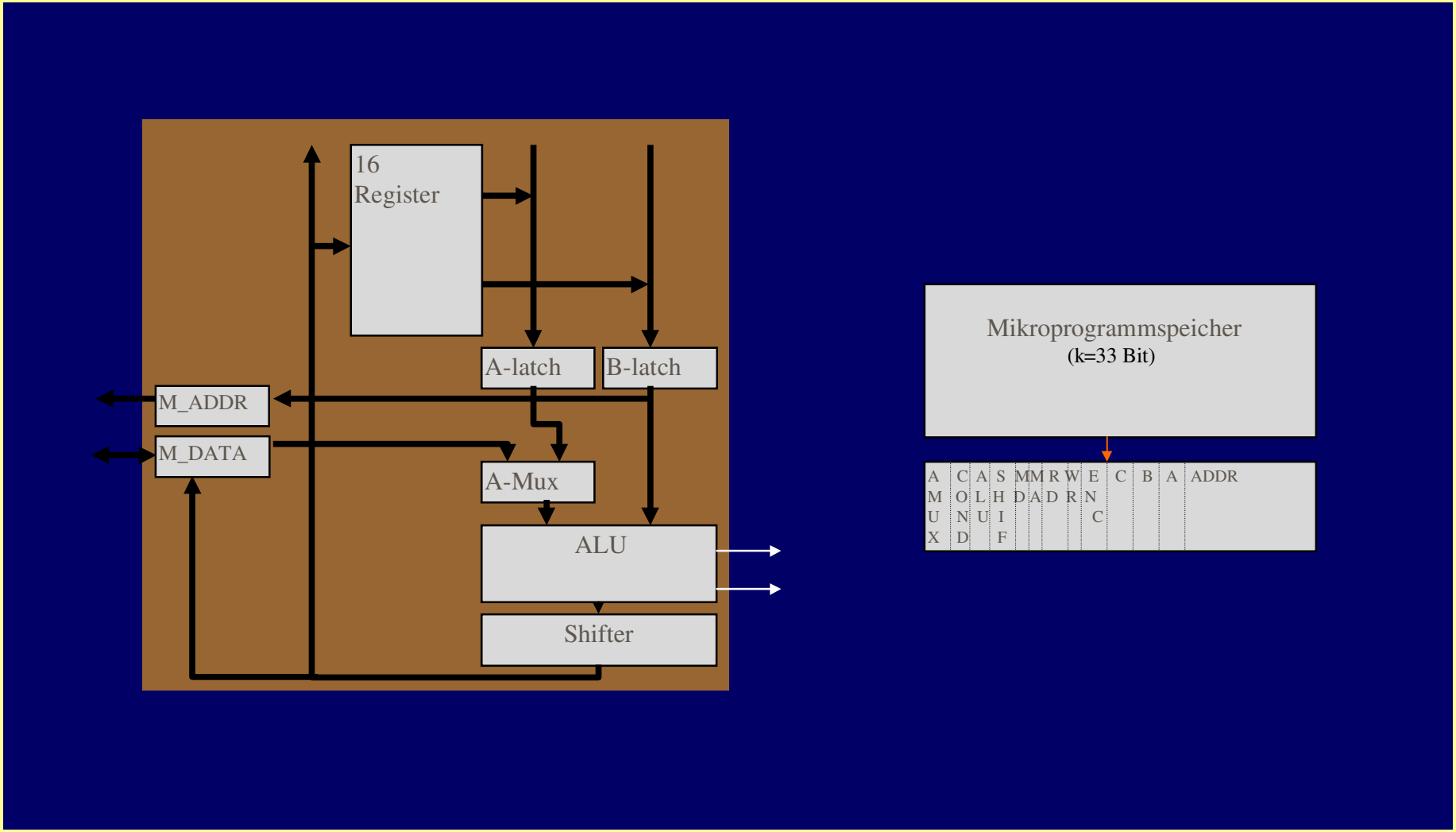
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



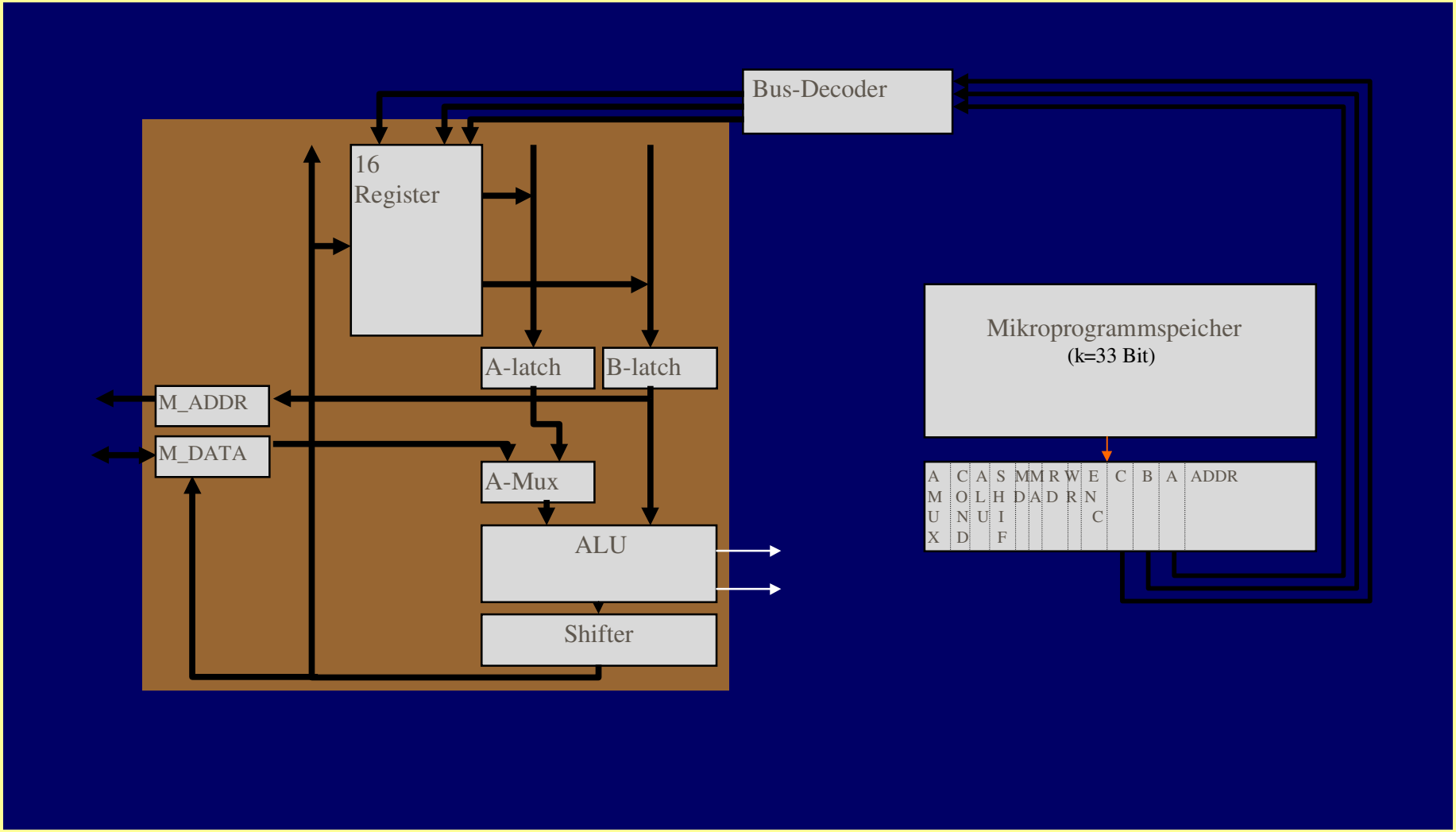
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



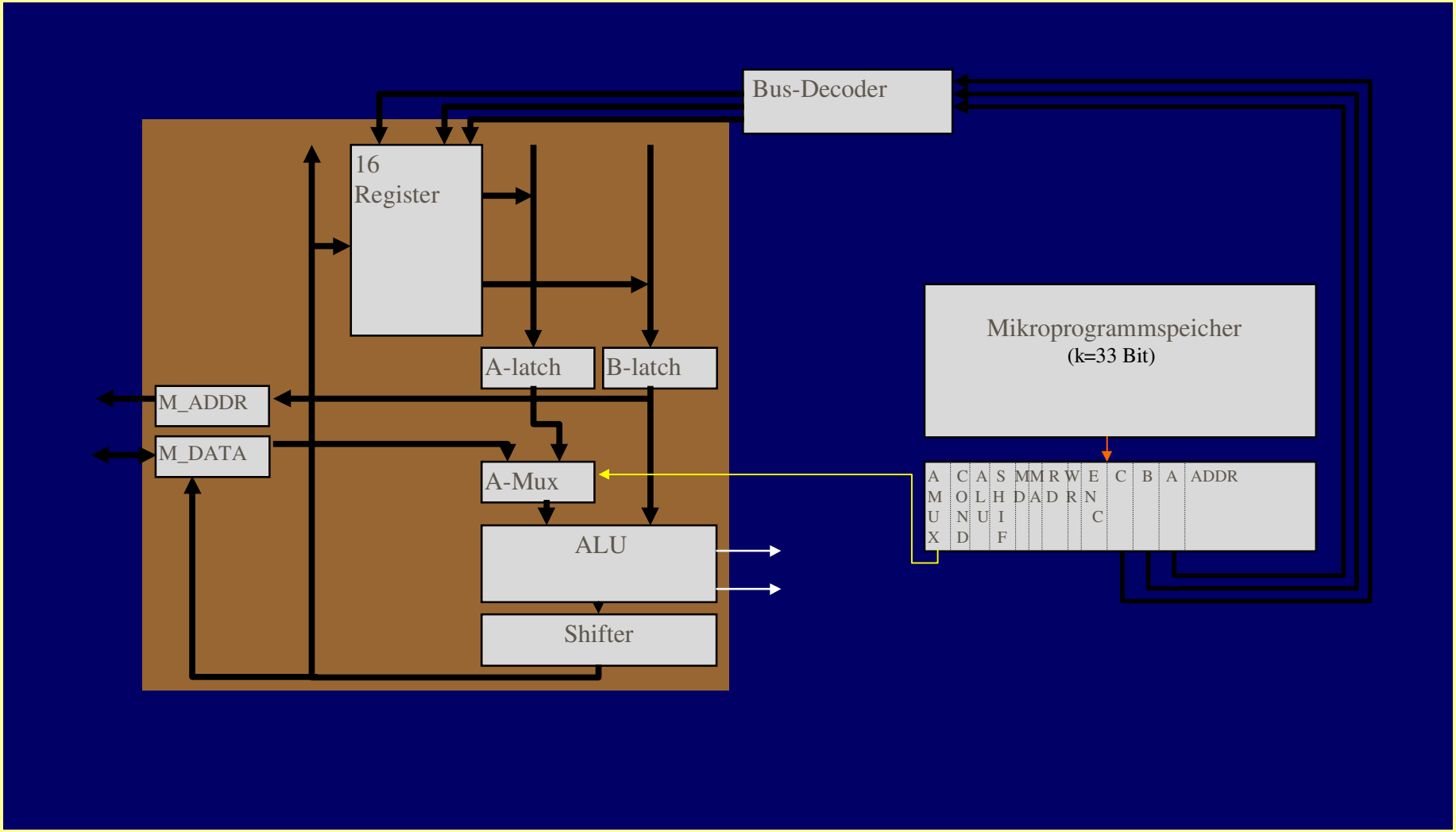
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



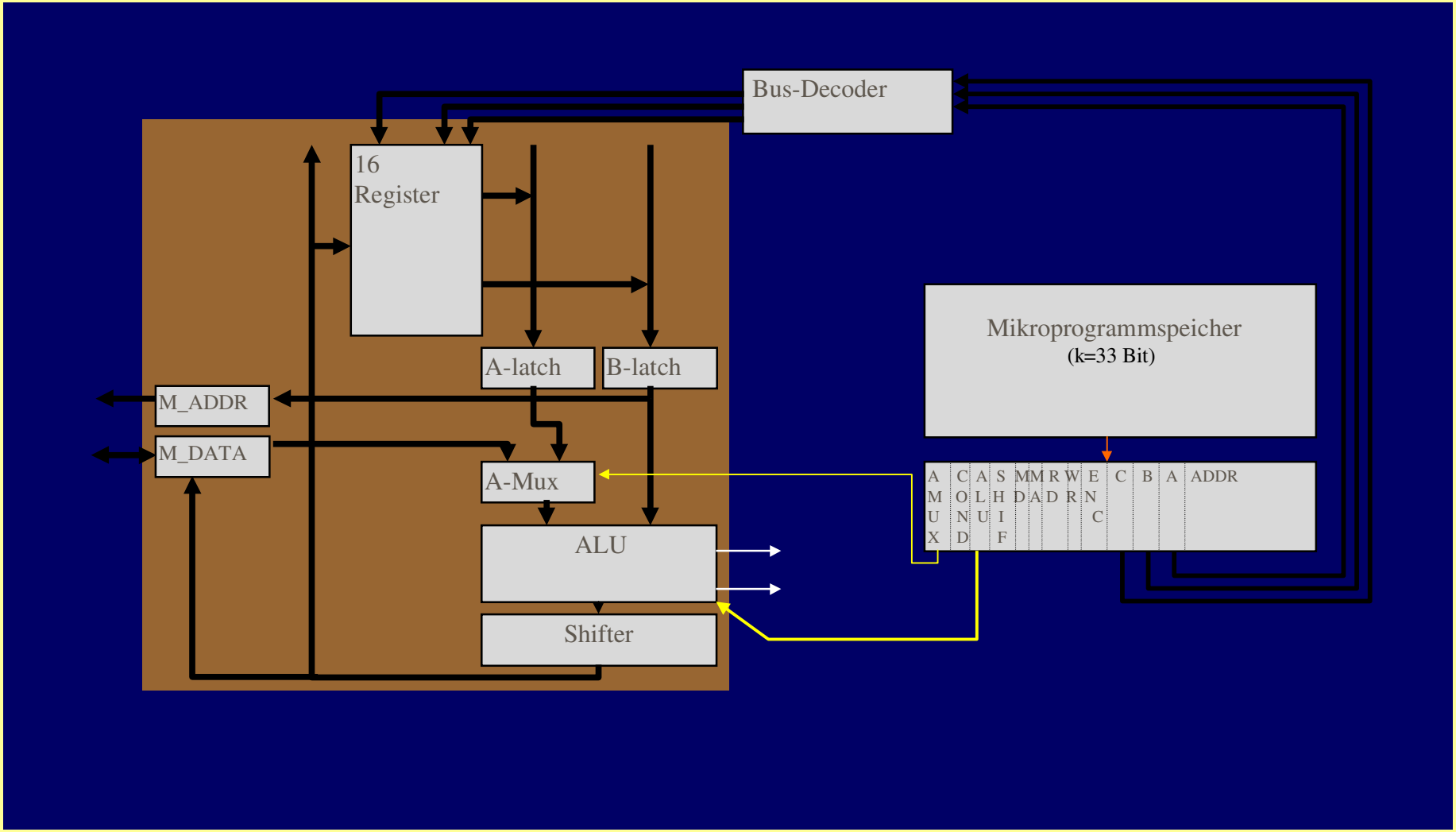
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



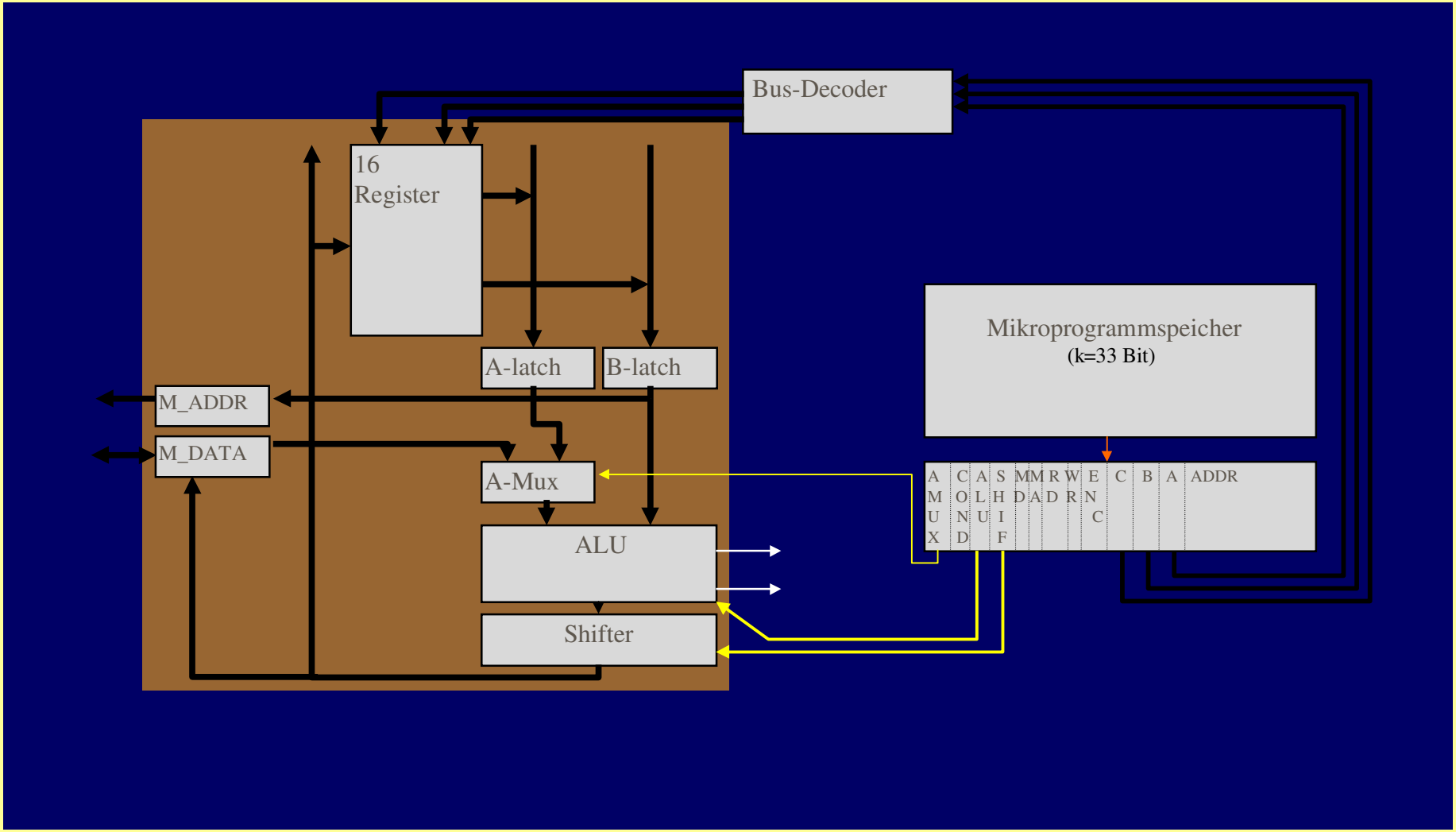
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



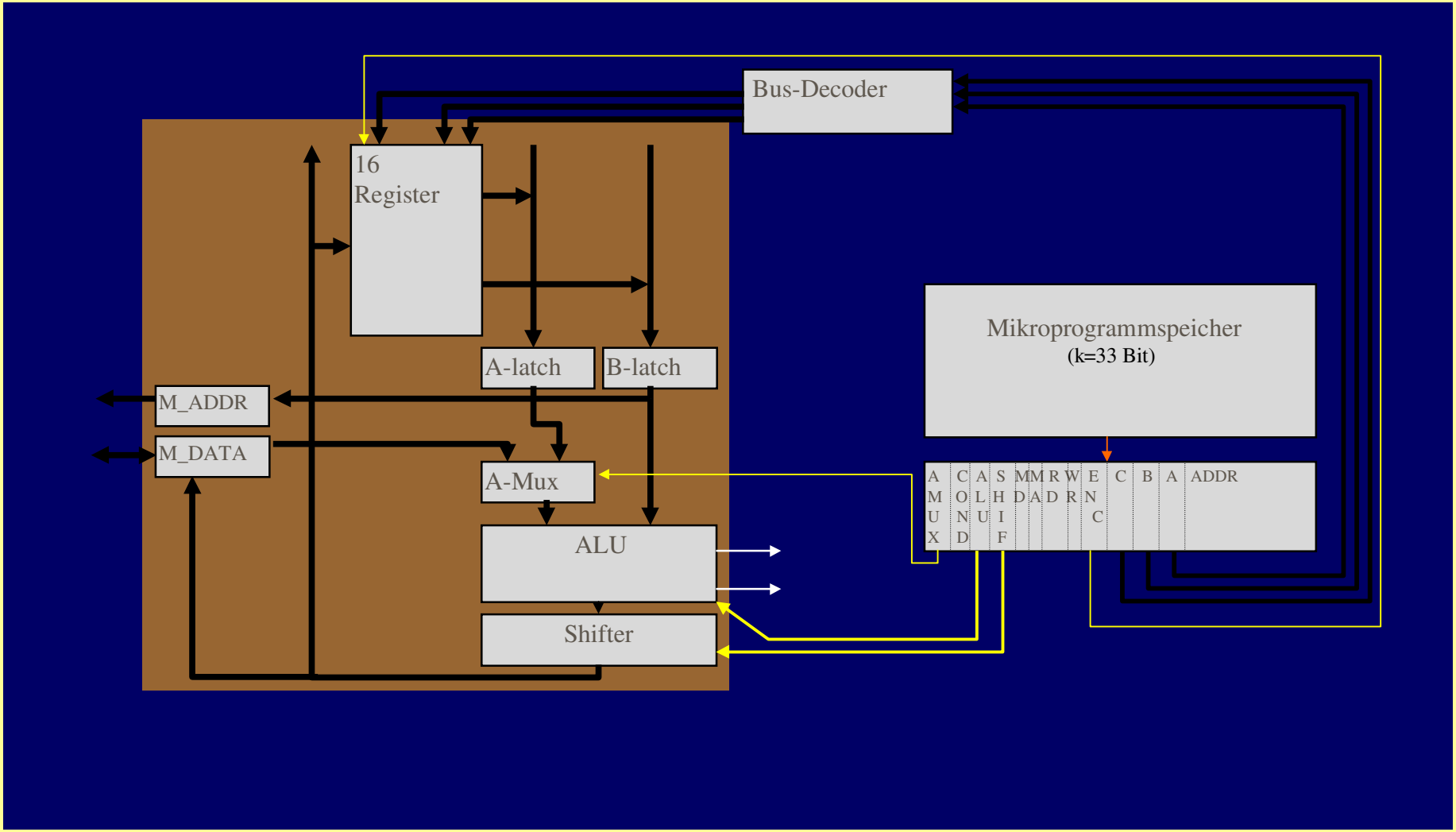
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



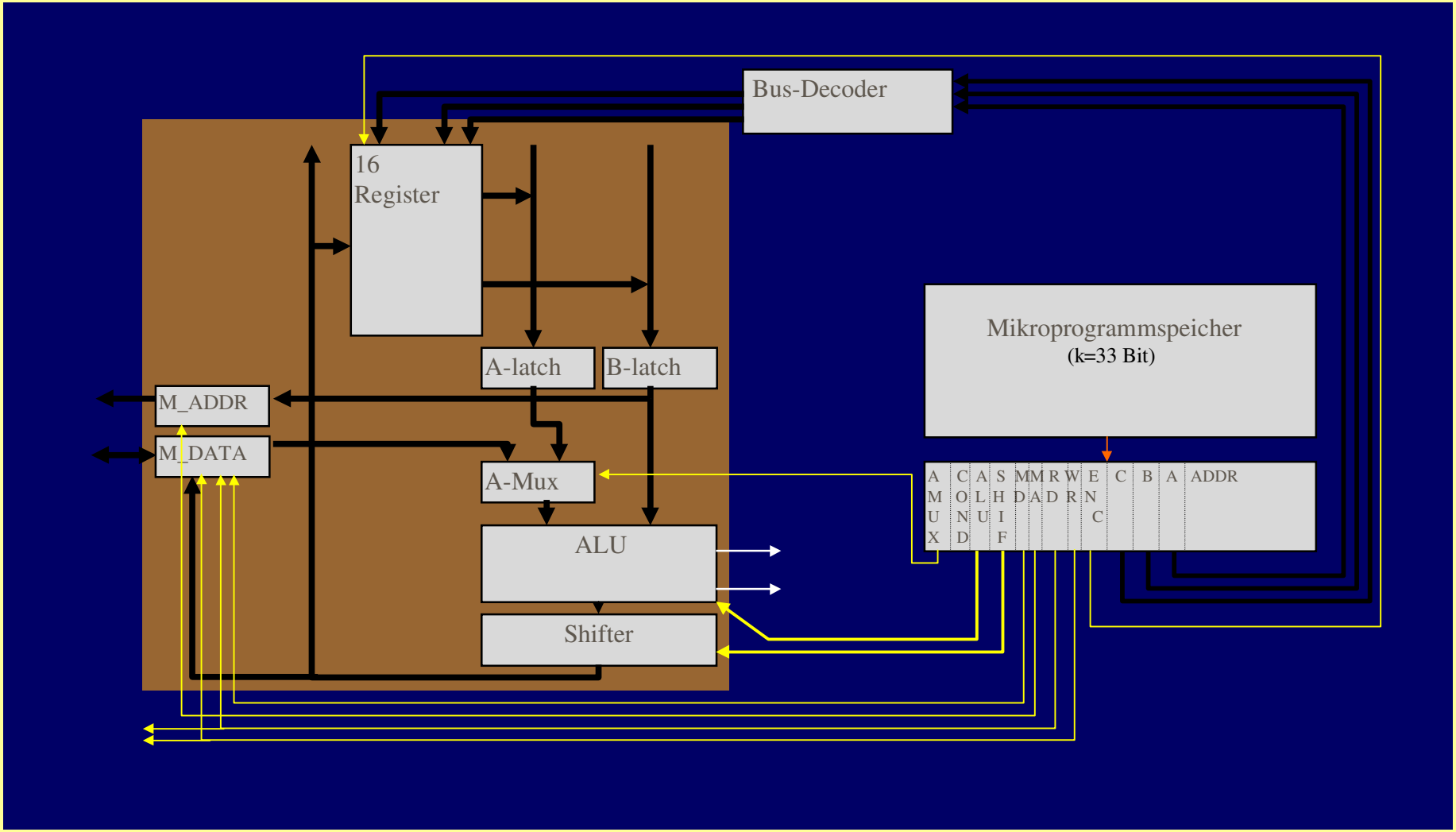
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



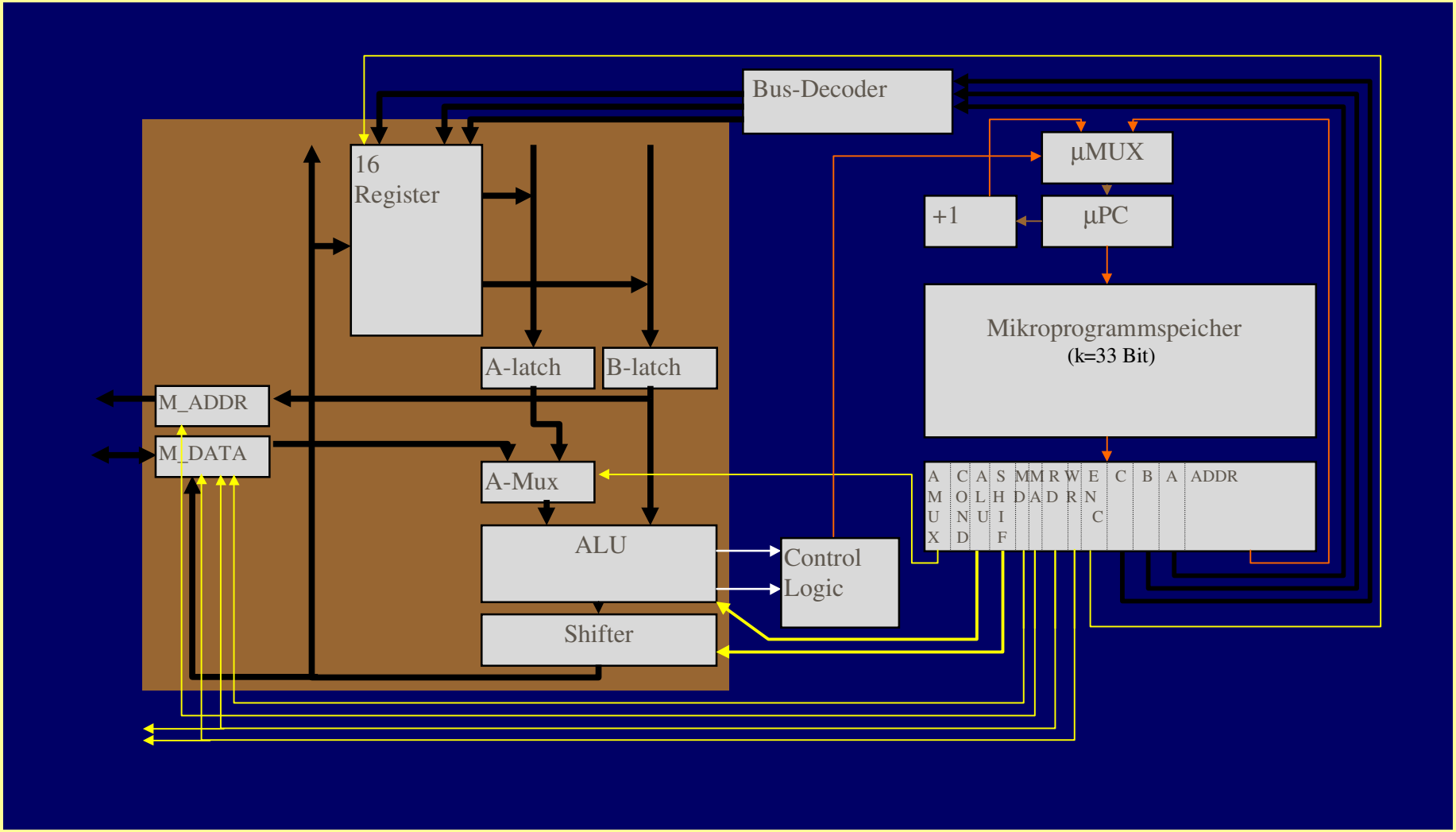
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



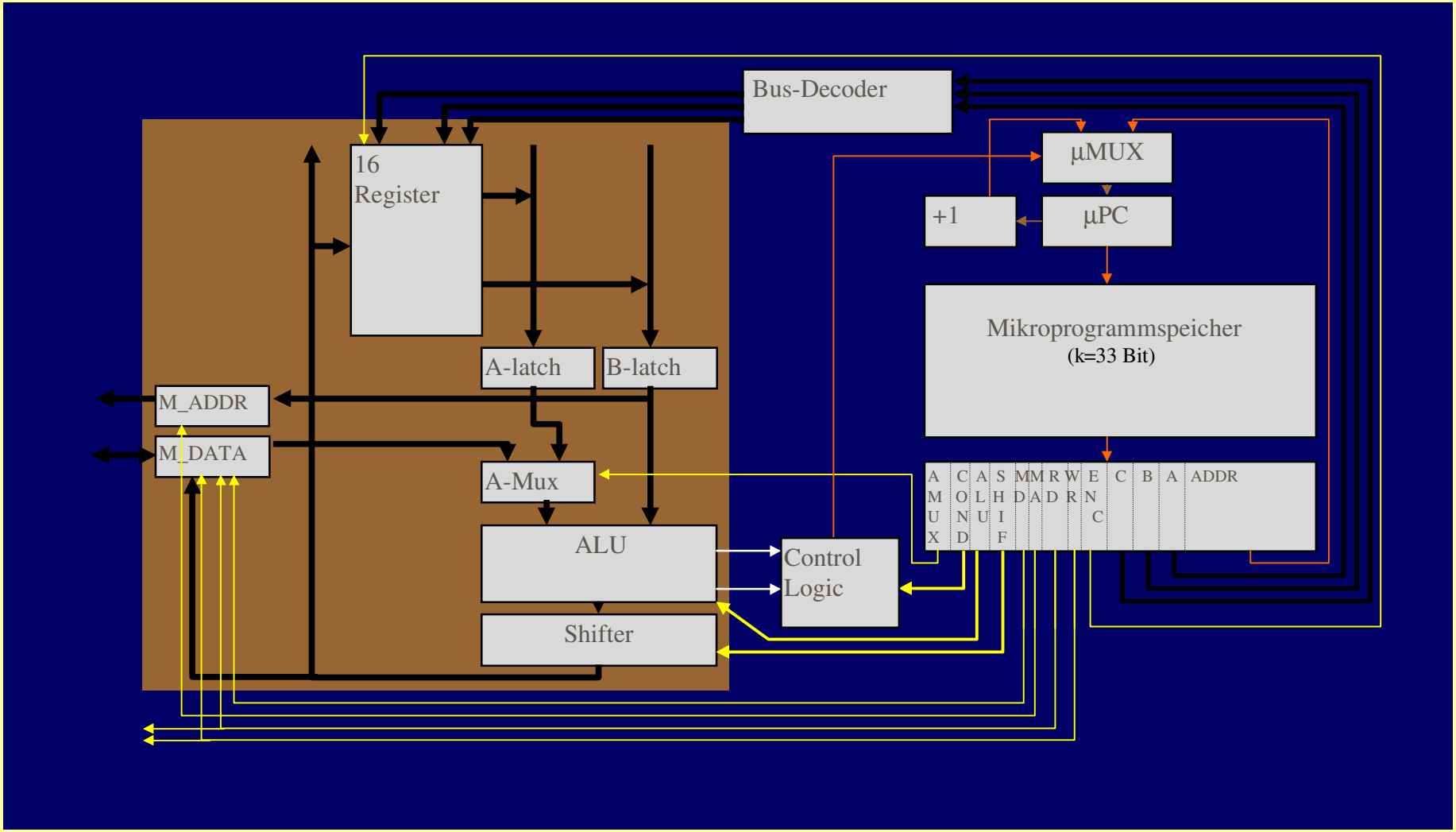
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



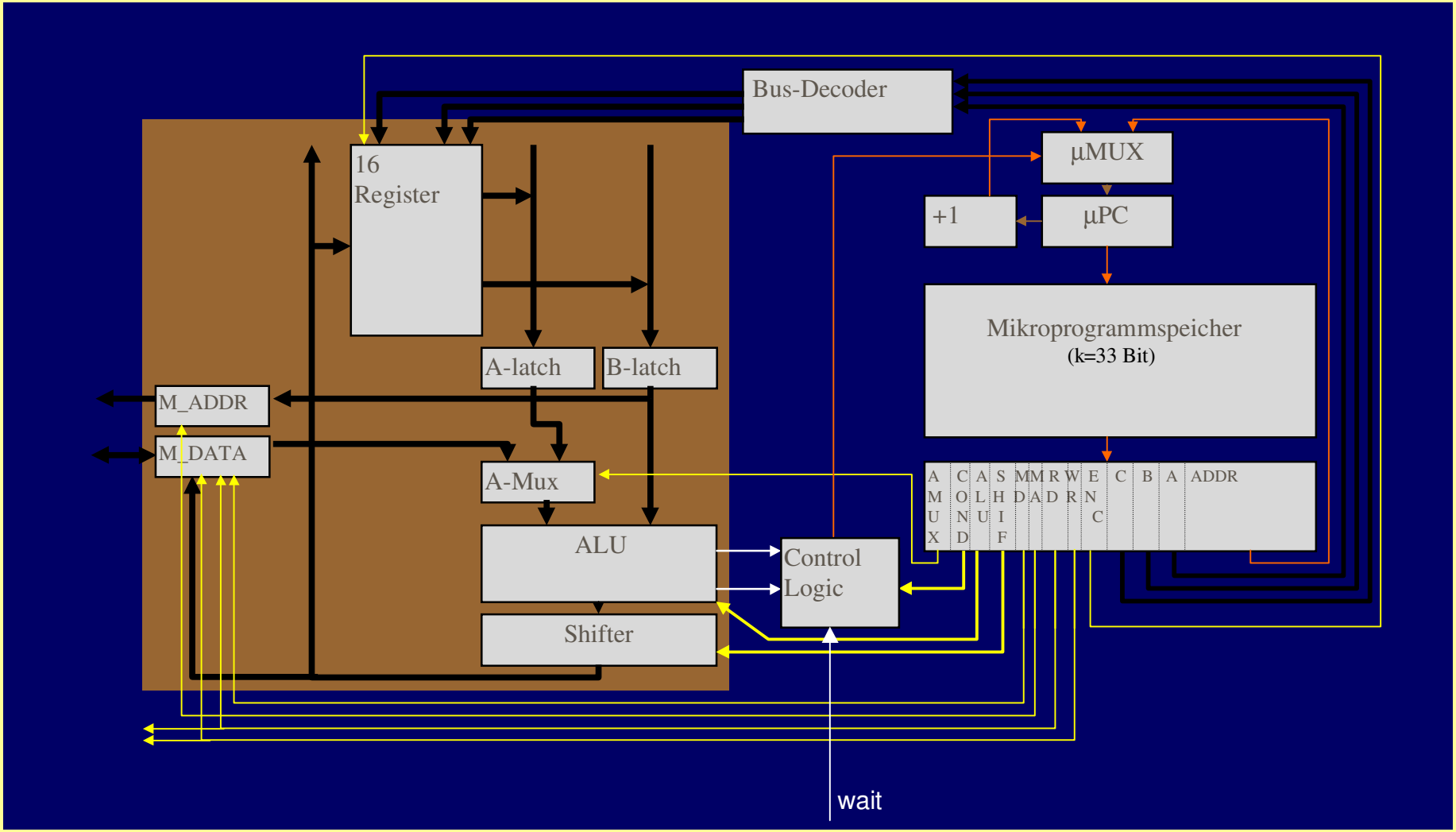
Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



Aufbau eines Mikroprogrammbefehls

1	**AMUX**	0 → A-Latch; 1 → M_DATA
2-4	**COND**	0 → No jump; 1 → Jump, if N; 2 → Jump, if Z; 3 → Jump 4 → Jump, if Wait
5-6	**ALU**	0 → A+B; 1 → AB; 2 → A; 3 → A’
7-8	**SHIFT**	0 → No shift; 1 → right shift 2 → left shift
9	**MD**	0 → No load; 1 → load
10	**MA**	0 → No load; 1 → load
11	**RD**	0 → No read; 1 → read
12	**WR**	0 → No write; 1 → write
13	**ENC**	0 → disable C; 1 → enable C
14-25	**A, B, C**	determine the active registers
26-33	**ADDR**	Microprogram jump address

Zu lösende Arbeit

Zu lösende Arbeit

- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

Zu lösende Arbeit

- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

- Mikroprogrammzyklus

Zu lösende Arbeit

- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

- Mikroprogrammzyklus
  - Lade den durch PC adressierten Befehl aus dem Hauptspeicher und schreibe ihn in das Instruktionsregister IR

Zu lösende Arbeit

- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

- Mikroprogrammzyklus
  - Lade den durch PC adressierten Befehl aus dem Hauptspeicher und schreibe ihn in das Instruktionsregister IR
  - Dekodiere den in IR abgespeicherten Befehl

Zu lösende Arbeit

- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

- Mikroprogrammzyklus
  - Lade den durch PC adressierten Befehl aus dem Hauptspeicher und schreibe ihn in das Instruktionsregister IR
  - Dekodiere den in IR abgespeicherten Befehl
  - Lege die Operanden auf den A- bzw. B-Bus
    (Achtung: es können wait-Zykeln auftreten)

Zu lösende Arbeit

- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

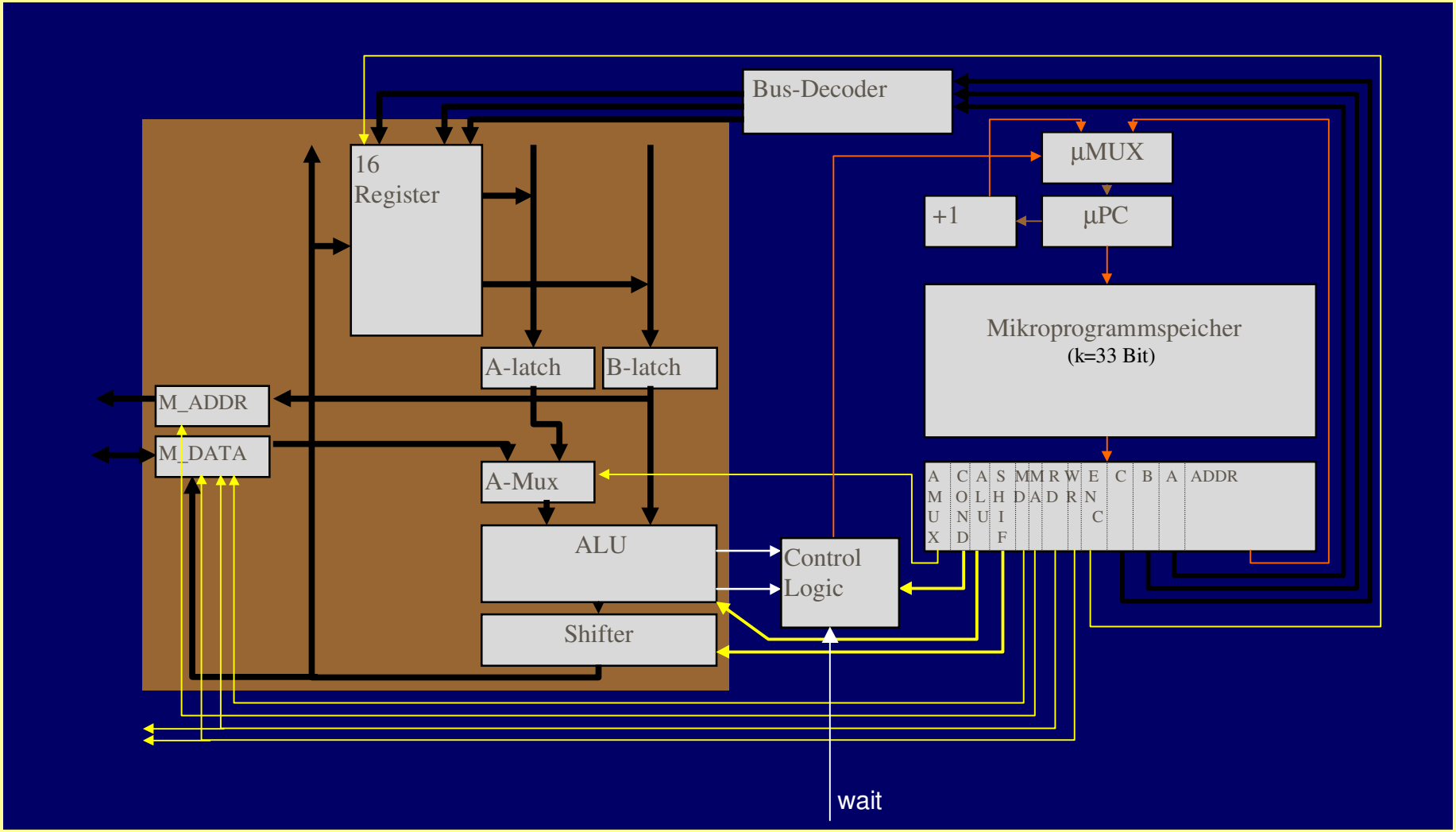
- Mikroprogrammzyklus
  - Lade den durch PC adressierten Befehl aus dem Hauptspeicher und schreibe ihn in das Instruktionsregister IR
  - Dekodiere den in IR abgespeicherten Befehl
  - Lege die Operanden auf den A- bzw. B-Bus
    (Achtung: es können wait-Zykeln auftreten)
  - Führe die verlangte Operation in der ALU und dem Shifter aus

Zu lösende Arbeit

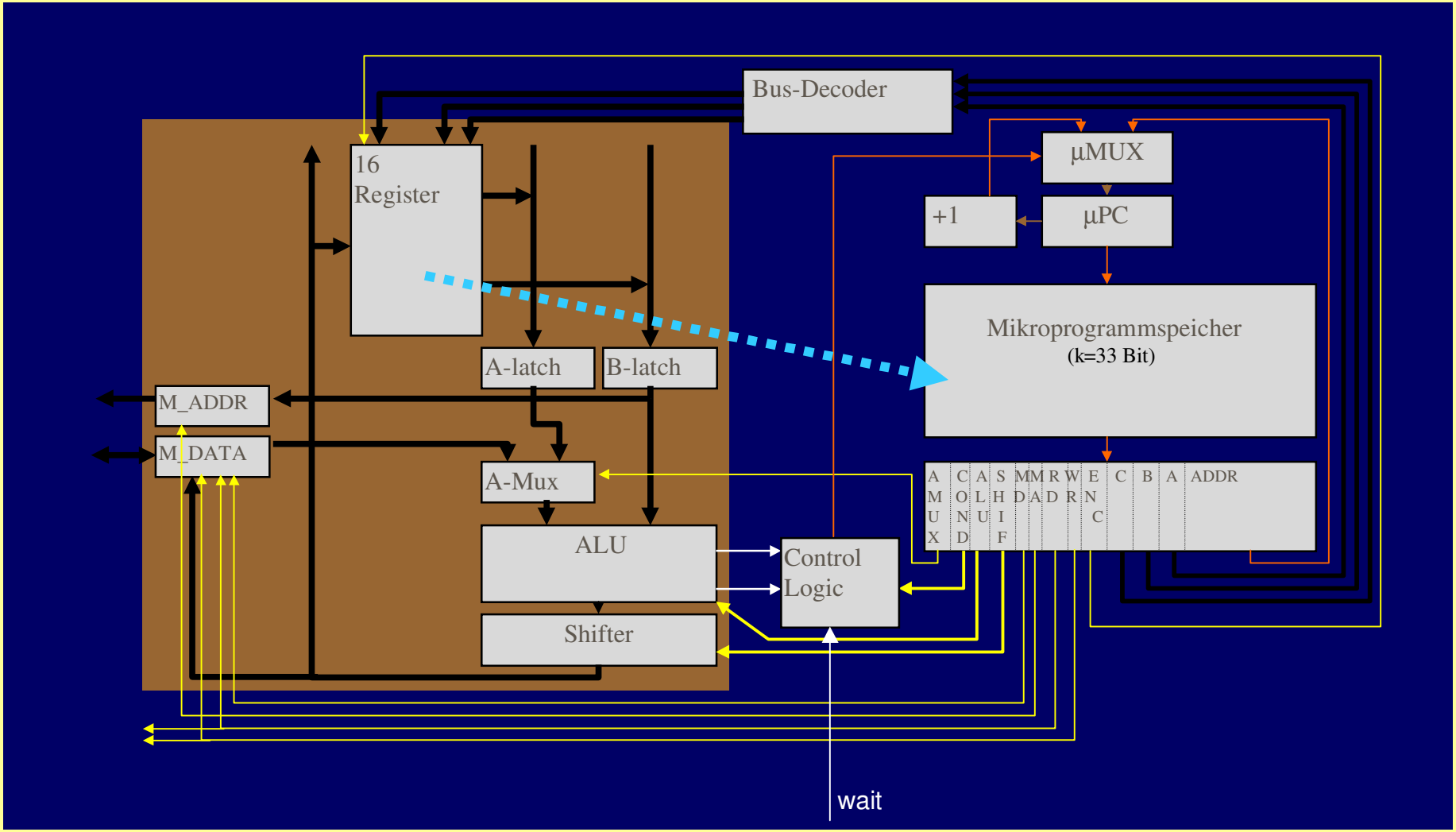
- Mikroprogramm, das auf unserer Spielhardware jedes Programm, das in der Maschinen(spiel)sprache geschrieben ist, korrekt ausführt.

- Mikroprogrammzyklus
  - Lade den durch PC adressierten Befehl aus dem Hauptspeicher und schreibe ihn in das Instruktionsregister IR
  - Dekodiere den in IR abgespeicherten Befehl
  - Lege die Operanden auf den A- bzw. B-Bus
    (Achtung: es können wait-Zykeln auftreten)
  - Führe die verlangte Operation in der ALU und dem Shifter aus
  - Speichere das Ergebnis ab.

Wie kann ein Maschinenbefehl dekodiert/ausgeführt werden ?



Wie kann ein Maschinenbefehl dekodiert/ausgeführt werden ?



Lesbare Schreibweise für Mikrobefehle

Lesbare Schreibweise für Mikrobefehle

- Mikroprogramme sind in ihrer eigentlichen Form schwer lesbar

0 000 00 00 0 0 0 0 1 0001 0001 1010 00000000

Lesbare Schreibweise für Mikrobefehle

- Mikroprogramme sind in ihrer eigentlichen Form schwer lesbar

  0 000 00 00 0 0 0 0 1 0001 0001 1010 00000000

- Mikroinstruktionen sind aber, wie gesehen, in Bereiche eingeteilt.

Lesbare Schreibweise für Mikrobefehle

- Mikroprogramme sind in ihrer eigentlichen Form schwer lesbar

  0 000 00 00 0 0 0 0 1 0001 0001 1010 00000000

- Mikroinstruktionen sind aber, wie gesehen, in Bereiche eingeteilt.

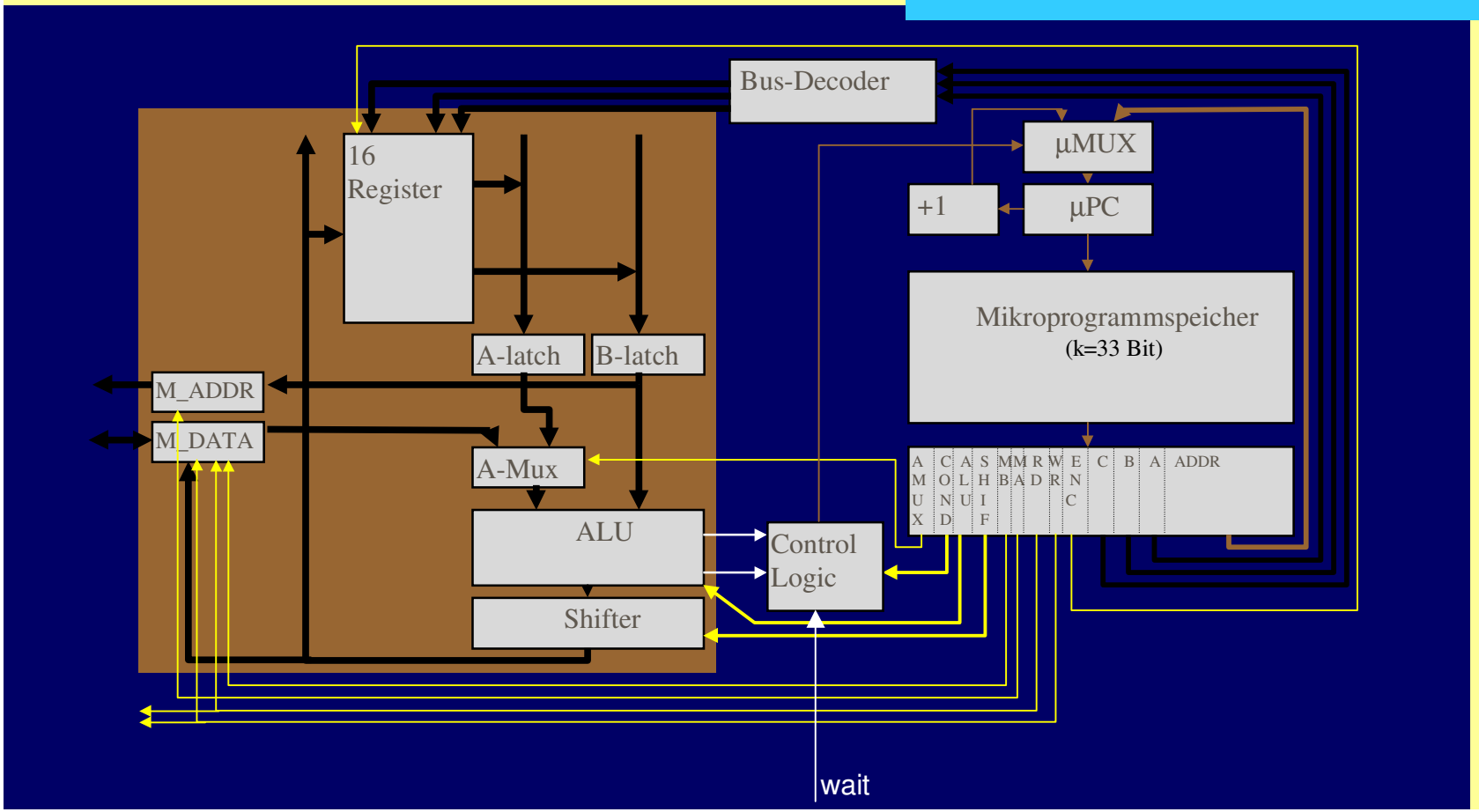
- ➪ Schreibe im folgenden nur die Teile hin, die verschieden von 0 sind

  ENC=1, C=1, B=1, A=10

  bzw. verwende eine PASCAL-ähnliche Notation

  C:=A+B;

1	AMUX	0 → A-Latch; 1 → M_DATA
2-4	COND	0 → No jump; 1 → Jump, if N; 2 → Jump, if Z; 3 → Jump 4 → Jump, if Wait
5-6	ALU	0 → A+B; 1 → AB; 2 → A; 3 → A'
7-8	SHIFT	0 → No shift; 1 → right shift 2 → left shift
9	MD	0 → No load; 1 → load
10	MA	0 → No load; 1 → load
11	RD	0 → No read; 1 → read
12	WR	0 → No write; 1 → write
13	ENC	0 → disable C; 1 → enable C
14-25	A, B, C	determine the active registers
26-33	ADDR	Microprogram jump address



Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

- M_ADDR:=PC; RD // ALU=2; MA=1; RD=1; MD=1;

Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

- M_ADDR:=PC; RD // ALU=2; MA=1; RD=1; MD=1;
- RD; // ALU=2; RD=1; MD=1

Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

- M_ADDR:=PC; RD // ALU=2; MA=1; RD=1; MD=1;
- RD; // ALU=2; RD=1; MD=1
- IR:=M_DATA // ALU=2; AMUX=1; ENC=1; C=3

Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

- M_ADDR:=PC; RD // ALU=2; MA=1; RD=1; MD=1;
- RD; // ALU=2; RD=1; MD=1
- IR:=M_DATA // ALU=2; AMUX=1; ENC=1; C=3
- PC:=PC+1 // ENC=1; B=6;

Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

- M_ADDR:=PC; RD // ALU=2; MA=1; RD=1; MD=1;
- RD; // ALU=2; RD=1; MD=1
- IR:=M_DATA // ALU=2; AMUX=1; ENC=1; C=3
- PC:=PC+1 // ENC=1; B=6;
- M_ADDR:=IR; M_DATA:=AC; WR // ALU=2; MD=1; MA=1; WR=1; A=1; B=3;

Beispiele für erlaubte "PASCAL"-Notationen

M_ADDR:=PC; RD	// ALU=2; MA=1; RD=1; MD=1;
RD;	// ALU=2; RD=1; MD=1
IR:=M_DATA	// ALU=2; AMUX=1; ENC=1; C=3
PC:=PC+1	// ENC=1; B=6;
M_ADDR:=IR; M_DATA:=AC; WR	// ALU=2; MD=1; MA=1; WR=1; A=1; B=3;
ALU:=TIR; If N then goto 15	// ALU=2; COND=1; A=4; ADDR=15

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2. If WAIT then goto 2; MD:=1; // warten bis Hauptspeicher Datum liefert

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2. If WAIT then goto 2; MD:=1; // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3. PC:=PC+1; // erhöhen des Befehlszählers

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2. If WAIT then goto 2; MD:=1; // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3. PC:=PC+1; // erhöhen des Befehlszählers
4. IR:=M_DATA; // schreibe Befehl ins Instruktionsregister

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2. If WAIT then goto 2; MD:=1; // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3. PC:=PC+1; // erhöhen des Befehlszählers
4. IR:=M_DATA; // schreibe Befehl ins Instruktionsregister
5. // Beginn Dekodierung

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2. If WAIT then goto 2; MD:=1; // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3. PC:=PC+1; // erhöhen des Befehlszählers
4. IR:=M_DATA; // schreibe Befehl ins Instruktionsregister
5. // Beginn Dekodierung

...

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

```
1.  M_ADDR:=PC; RD;              // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;  // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                    // erhöhen des Befehlszählers
4.  IR:=M_DATA;                  // schreibe Befehl ins Instruktionsregister
5.                               // Beginn Dekodierung
...
x.                               // Ende Dekodierung
```

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

```
1.   M_ADDR:=PC; RD;                    // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.   If WAIT then goto 2; MD:=1;        // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.   PC:=PC+1;                          // erhöhen des Befehlszählers
4.   IR:=M_DATA;                        // schreibe Befehl ins Instruktionsregister
5.                                      // Beginn Dekodierung
...
x.                                      // Ende Dekodierung
x+1. M_ADDR:=TIR; RD                    // Lese m[x]
```

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

```
1.   M_ADDR:=PC; RD;                  // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.   If WAIT then goto 2; MD:=1;      // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.   PC:=PC+1;                        // erhöhen des Befehlszählers
4.   IR:=M_DATA;                      // schreibe Befehl ins Instruktionsregister
5.                                    // Beginn Dekodierung
...
x.                                    // Ende Dekodierung
x+1. M_ADDR:=TIR; RD                  // Lese m[x]
x+2  If WAIT then goto x+2; MD:=1;    // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
```

Interpretation des Maschinenbefehls ADDD

Befehl ADDD: 0010xxxxxxxxxxxx ac:=ac+m[x]

Interpretation durch das Mikroprogramm

```
1.   M_ADDR:=PC; RD;                    // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.   If WAIT then goto 2; MD:=1;        // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.   PC:=PC+1;                          // erhöhen des Befehlszählers
4.   IR:=M_DATA;                        // schreibe Befehl ins Instruktionsregister
5.                                      // Beginn Dekodierung
...
x.                                      // Ende Dekodierung
x+1. M_ADDR:=TIR; RD                    // Lese m[x]
x+2. If WAIT then goto x+2; MD:=1;      // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
x+3. AC:=AC+M_DATA;
```

Dekodierung eines Maschinenbefehls

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

1. M_ADDR:=PC; RD; // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2. If WAIT then goto 2; MD:=1; // warten bis Hauptspeicher Datum liefert

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

```
1.  M_ADDR:=PC; RD;                  // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;      // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                        // erhöhen des Befehlszählers
```

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

```
1.  M_ADDR:=PC; RD;                          // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;              // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                                // erhöhen des Befehlszählers
4.  IR:=M_DATA; if N then goto <label1>;
                                             // schreibe Befehl ins Instruktionsregister;
                                             // ist das erste Bit eine 1, so springe
```

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

```
1.  M_ADDR:=PC; RD;                          // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;              // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                                // erhöhen des Befehlszählers
4.  IR:=M_DATA; if N then goto <label1>;
                                             // schreibe Befehl ins Instruktionsregister;
                                             // ist das erste Bit eine 1, so springe
5.  TIR:=LSHIFT(IR+IR); if N then goto <label2>;
                                             // beginnt der Opcode mit 01, so springe
```

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

```
1.  M_ADDR:=PC; RD;                          // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;              // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                                // erhöhen des Befehlszählers
4.  IR:=M_DATA; if N then goto <label1>;
                                             // schreibe Befehl ins Instruktionsregister;
                                             // ist das erste Bit eine 1, so springe
5.  TIR:=LSHIFT(IR+IR); if N then goto <label2>;
                                             // beginnt der Opcode mit 01, so springe
6.  TIR:=LSHIFT(TIR); if N then goto <label3>;
                                             // beginnt der Opcode mit 001, so springe
```

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

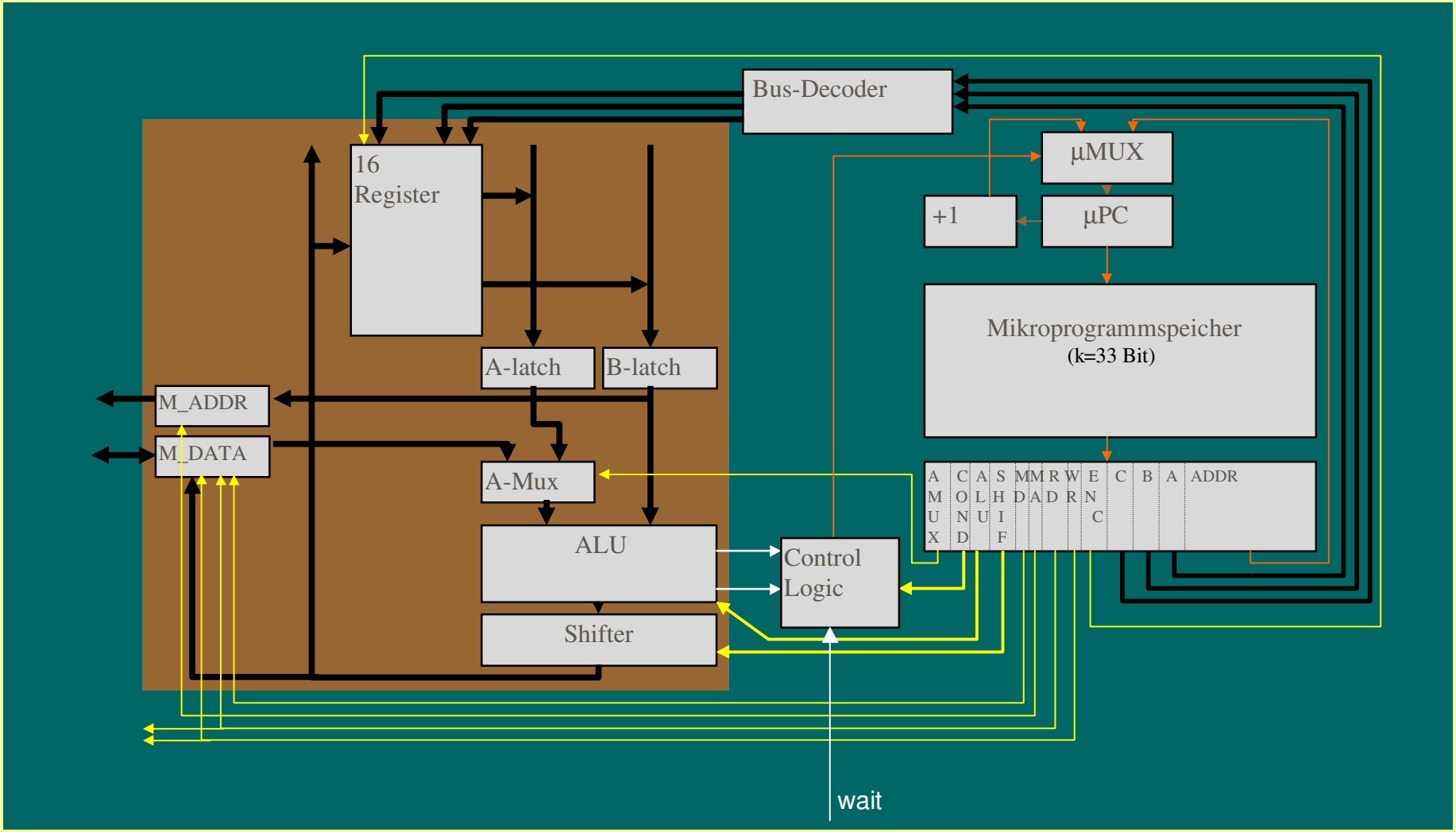
```
1.  M_ADDR:=PC; RD;                                  // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;                      // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                                        // erhöhen des Befehlszählers
4.  IR:=M_DATA; if N then goto <label1>;
                                                     // schreibe Befehl ins Instruktionsregister;
                                                     // ist das erste Bit eine 1, so springe
5.  TIR:=LSHIFT(IR+IR); if N then goto <label2>;
                                                     // beginnt der Opcode mit 01, so springe
6.  TIR:=LSHIFT(TIR); if N then goto <label3>;
                                                     // beginnt der Opcode mit 001, so springe
7.  ALU:=TIR; if N then goto <label4>;
                                                     // beginnt der Opcode mit 0001, so springe
```

Dekodierung eines Maschinenbefehls

... erfolgt auch durch das Mikroprogramm

```
1.  M_ADDR:=PC; RD;                          // hole den Befehl aus dem Hauptspeicher
2.  If WAIT then goto 2; MD:=1;              // warten bis Hauptspeicher Datum liefert
3.  PC:=PC+1;                                // erhöhen des Befehlszählers
4.  IR:=M_DATA; if N then goto <label1>;
                                             // schreibe Befehl ins Instruktionsregister;
                                             // ist das erste Bit eine 1, so springe
5.  TIR:=LSHIFT(IR+IR); if N then goto <label2>;
                                             // beginnt der Opcode mit 01, so springe
6.  TIR:=LSHIFT(TIR); if N then goto <label3>;
                                             // beginnt der Opcode mit 001, so springe
7.  ALU:=TIR; if N then goto <label4>;
                                             // beginnt der Opcode mit 0001, so springe
8.  // Der Opcode ist also 0000, d.h. der Maschinenbefehl ist der ADDD Befehl
```

Gesamtarchitektur des (Spiel-)Rechners



Aufbau eines Mikroprogramms

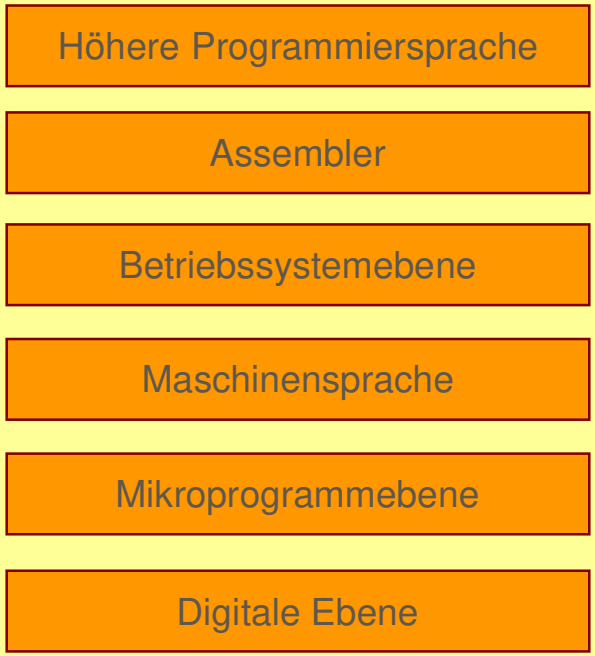
Aufbau eines Mikroprogramms

- Enthält die Maschinensprache *n* Instruktionen, so besteht das Mikroprogramm aus *n+1* Teilen:
  - ein Block zum Dekodieren der Befehle
  - zu jeder Maschineninstruktion ein Mikrocode

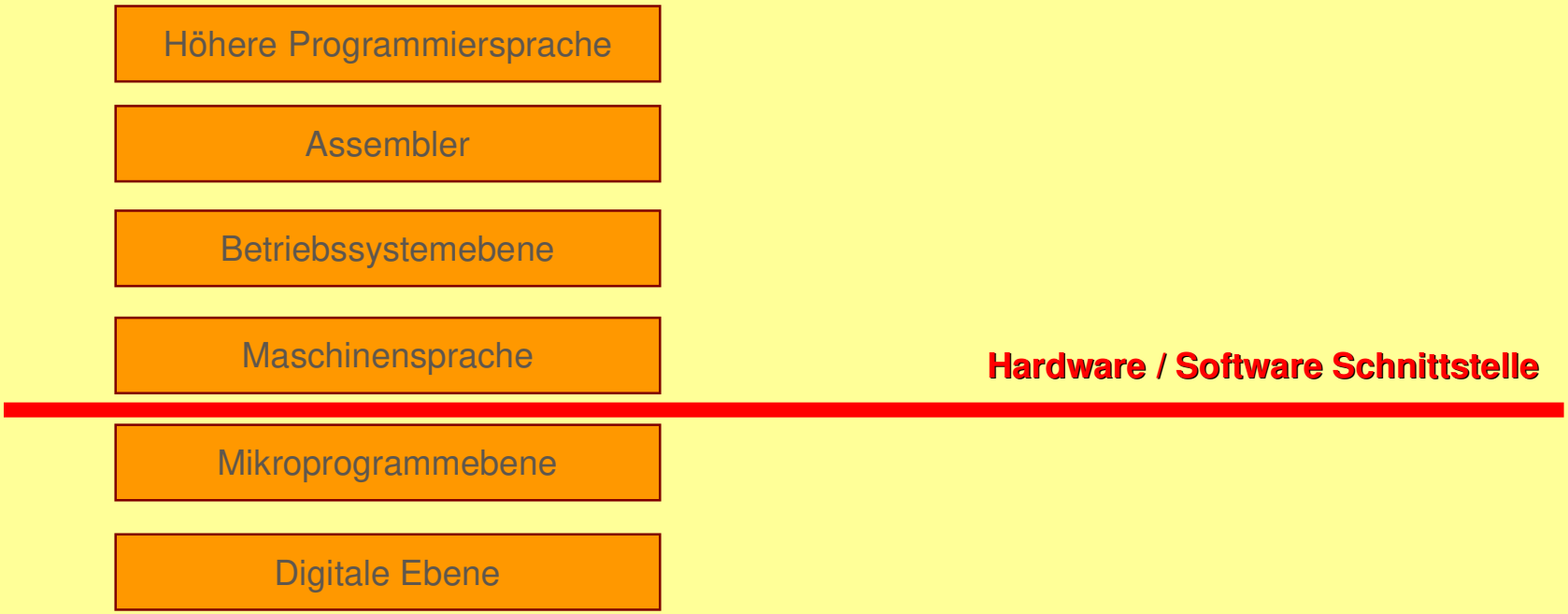
Aufbau eines Mikroprogramms

- Enthält die Maschinensprache *n* Instruktionen, so besteht das Mikroprogramm aus *n+1* Teilen:
  - ein Block zum Dekodieren der Befehle
  - zu jeder Maschineninstruktion ein Mikrocode
- Das Mikroprogramm ist im Mikroprogrammspeicher (ROM) vom Hersteller abgelegt und für den Programmierer nicht zugreifbar

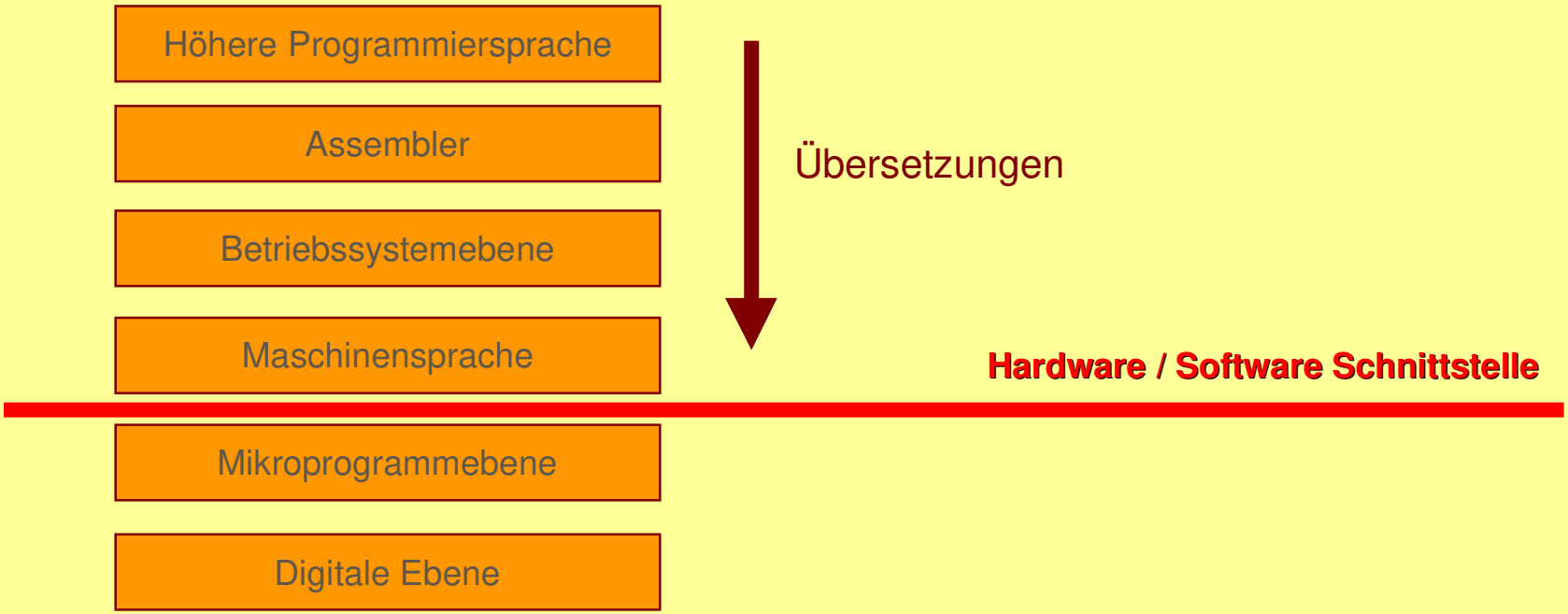
CISC/RISC


Höhere Programmiersprache
Assembler
Betriebssystemebene
Maschinensprache
Mikroprogrammebene
Digitale Ebene

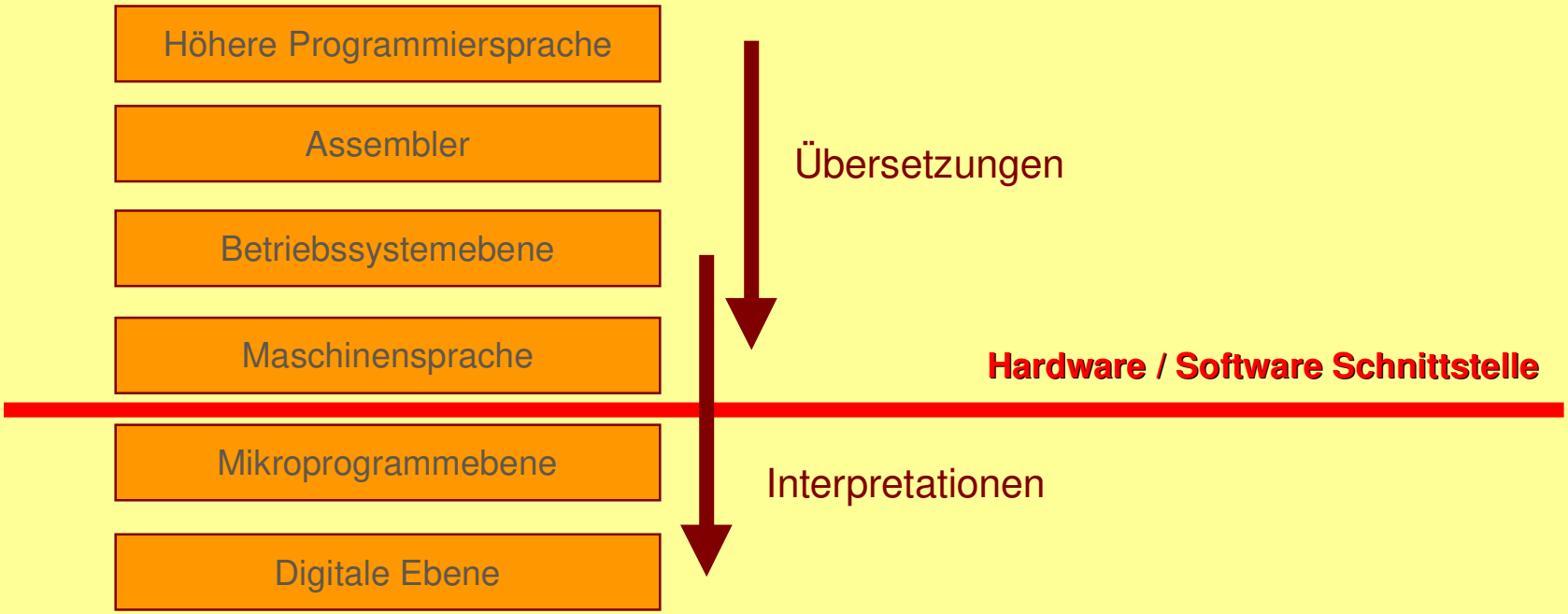
CISC/RISC


Höhere Programmiersprache
Assembler
Betriebssystemebene
Maschinensprache
Hardware / Software Schnittstelle
Mikroprogrammebene
Digitale Ebene

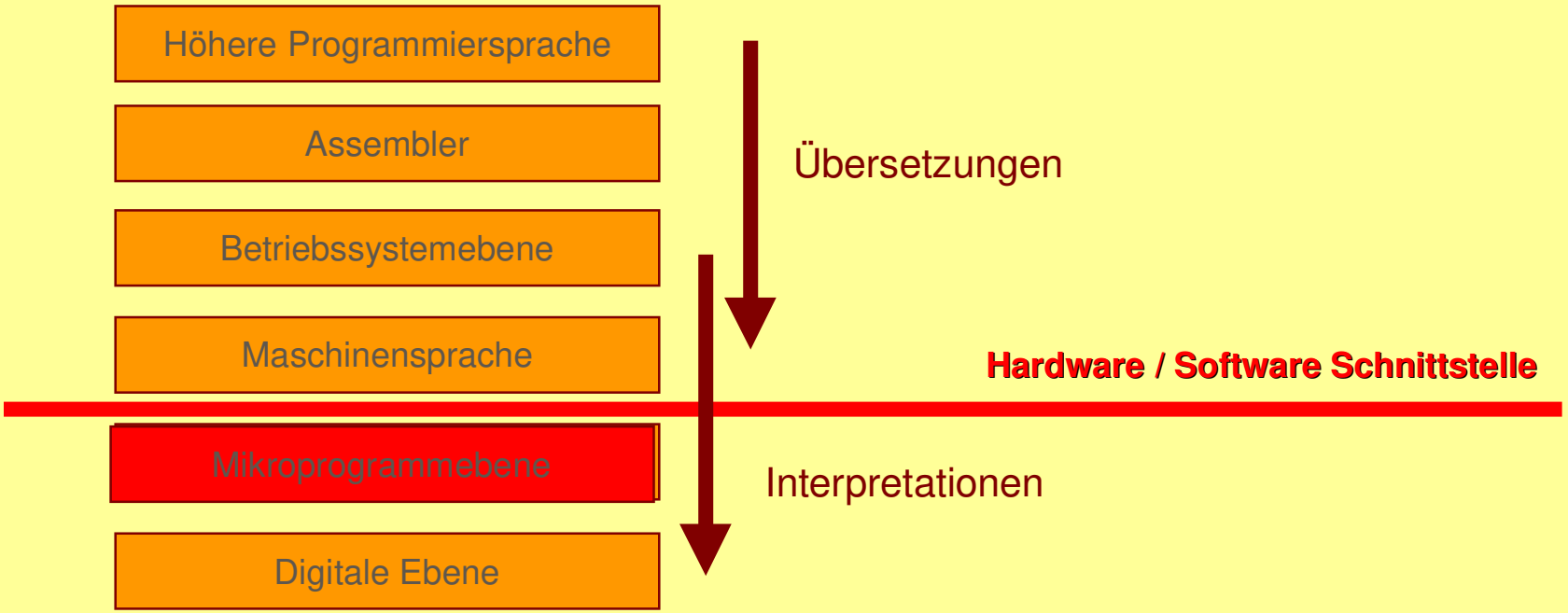
CISC/RISC


Höhere Programmiersprache
Assembler
Betriebssystemebene
Maschinensprache
Übersetzungen
Hardware / Software Schnittstelle
Mikroprogrammebene
Digitale Ebene

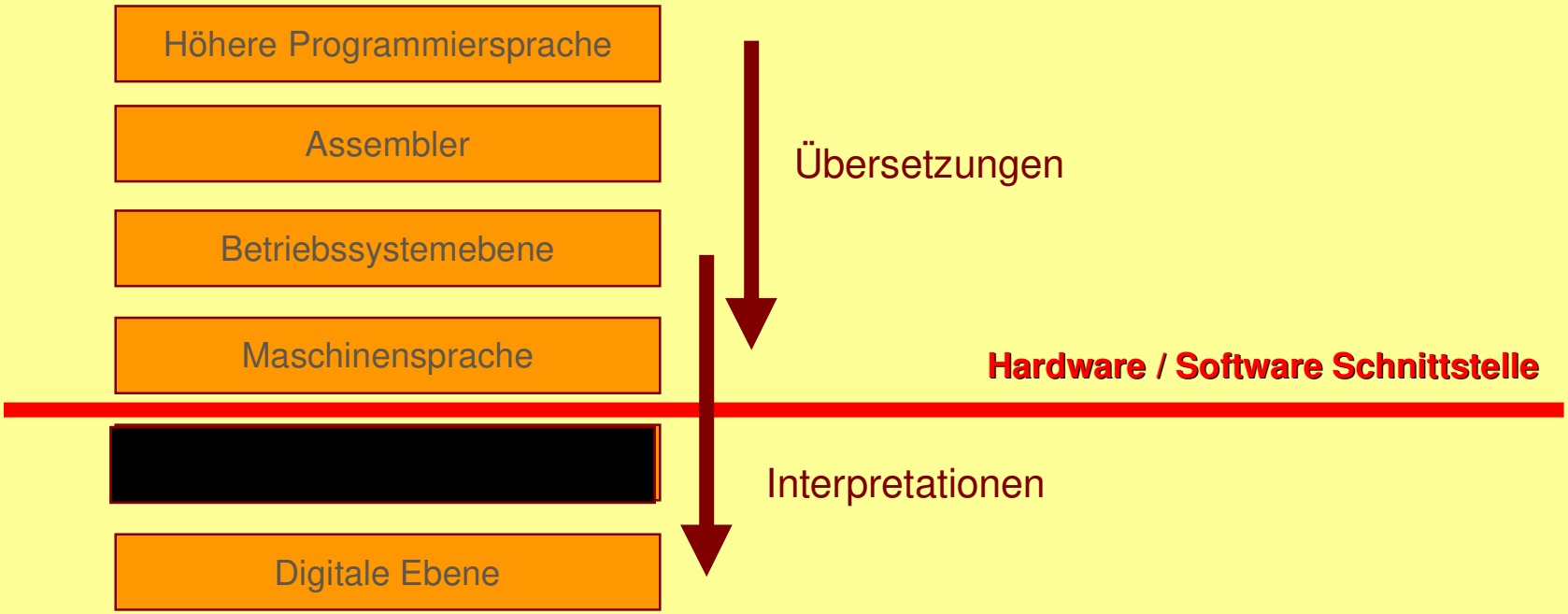
CISC/RISC


Höhere Programmiersprache
Assembler
Betriebssystemebene
Maschinensprache
Mikroprogrammebene
Digitale Ebene
Übersetzungen
Interpretationen
Hardware / Software Schnittstelle

CISC/RISC


Höhere Programmiersprache
Assembler
Betriebssystemebene
Maschinensprache
Mikroprogrammebene
Digitale Ebene
Übersetzungen
Interpretationen
Hardware / Software Schnittstelle

CISC/RISC


Höhere Programmiersprache
Assembler
Betriebssystemebene
Maschinensprache
Übersetzungen
Hardware / Software Schnittstelle
Interpretationen
Digitale Ebene