

Do-It-Yourself CPU

1. ALU

mail@AndreBetz.de

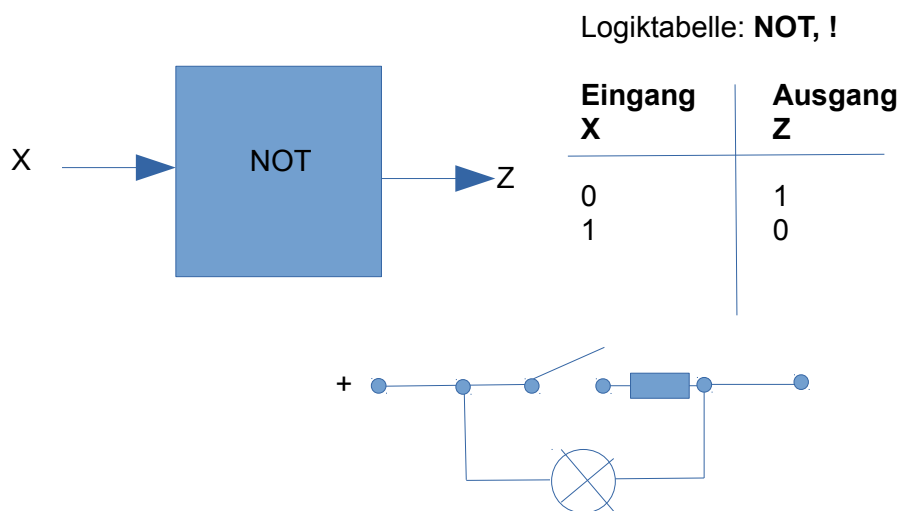
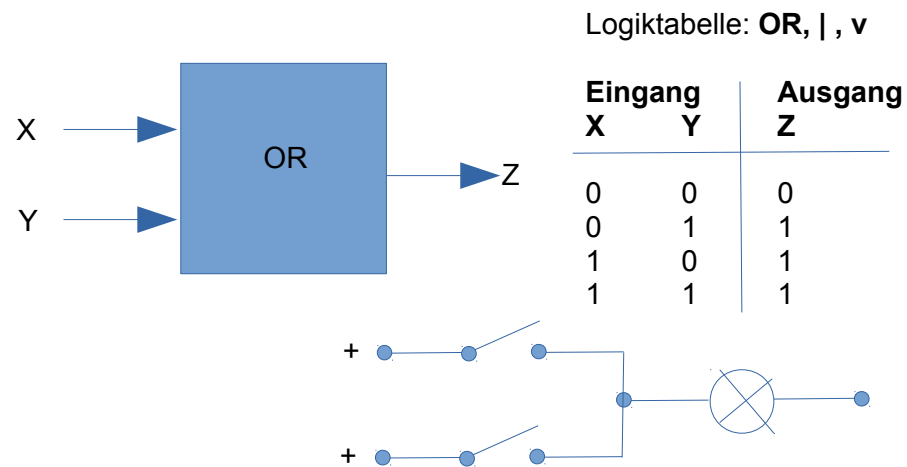
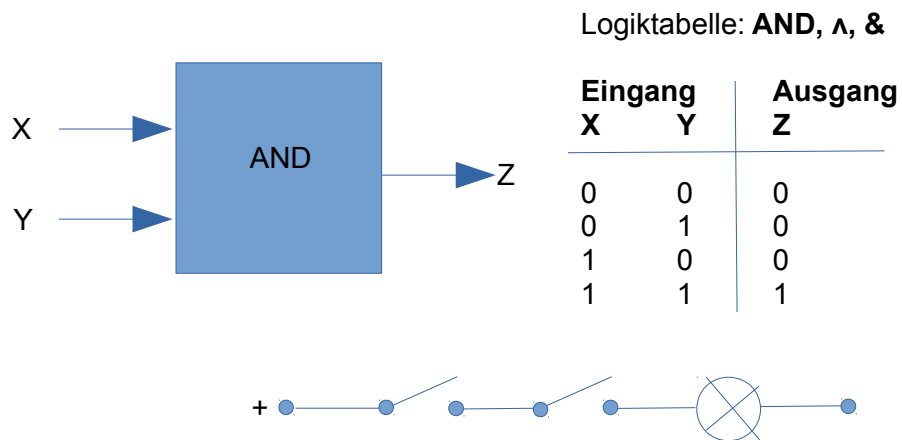
1. Digitale Bauelemente

Digital: leitet sich vom lateinischen Wort Digitus ab und bedeutet Finger. Dies bedeutet, dass man eine begrenzte Zahl von Ziffern darstellen will

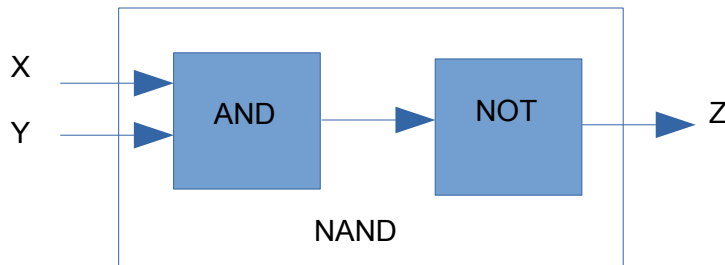
Digitaltechnik: zur Übertragung von Information wird eine begrenzte Zahl von Ziffern verwendet

Binärsystem: Ist die bekannteste Digitaltechnik und besteht nur aus den Ziffern **0** (Strom aus) und **1** (Strom an) und wird im Computerbereich verwendet

Digitale Bausteine: Sind Bausteine der binären Digitaltechnik und werden auch Logikgatter genannt. Diese Bausteine verknüpfen digitale Signale. Verwendet werden: AND, OR, NOT. Aus diesen werden weitere gebildet, wie NAND, NOR und XOR.

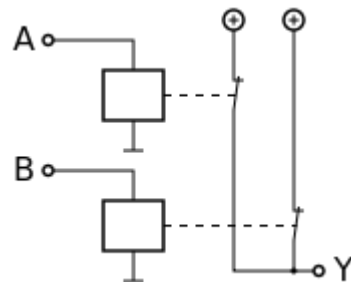


Aus diesen können wieder andere zusammengesetzt werden

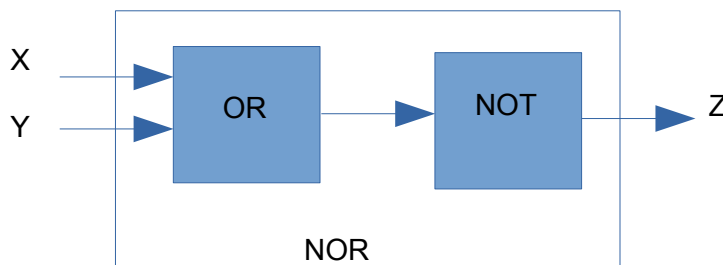


Logiktablelle: **NAND**

| Eingang | | Ausgang |
|---------|---|---------|
| X | Y | Z |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |



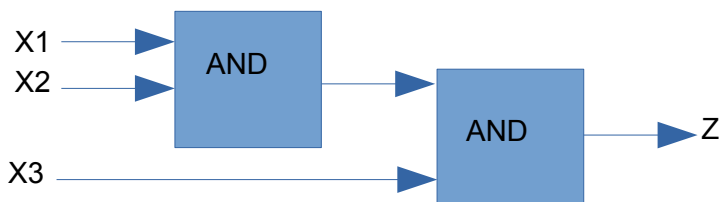
NAND als Relaisschaltung



Logiktablelle: **NOR**

| Eingang | | Ausgang |
|---------|---|---------|
| X | Y | Z |
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 |

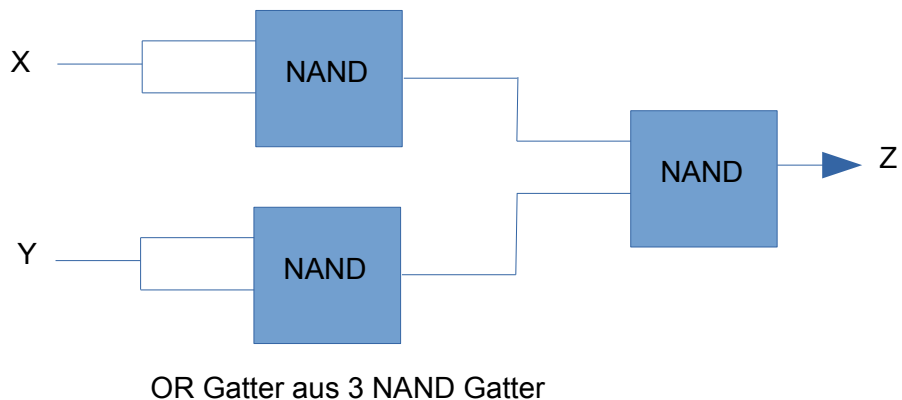
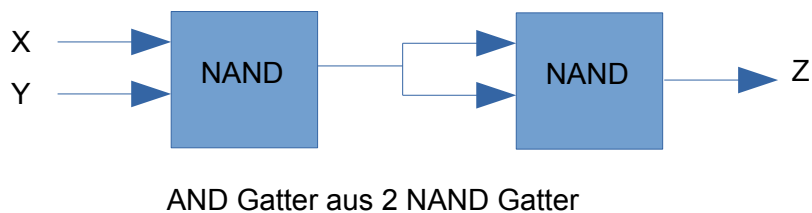
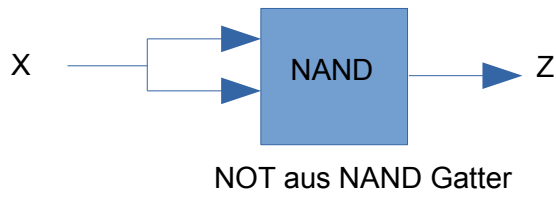
AND mit 3 Eingängen

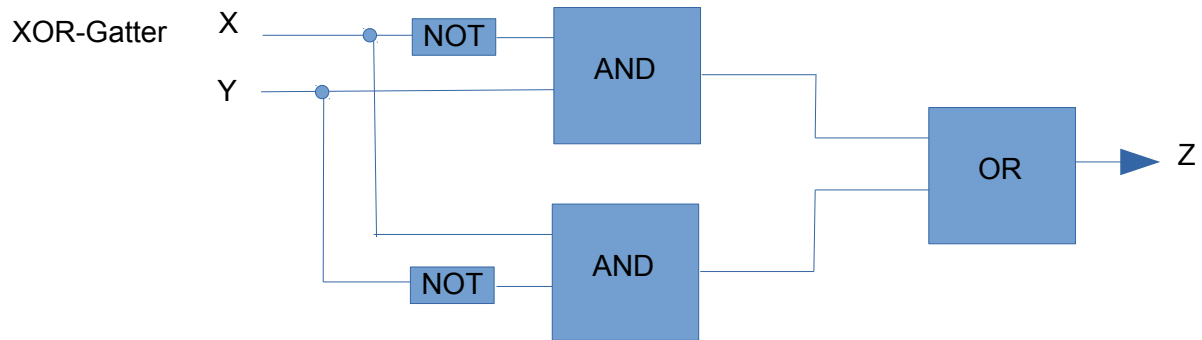


Logiktablelle: **AND 3x**

| Eingang | | | Ausgang |
|---------|----|----|---------|
| X1 | X2 | X3 | Z |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

NAND und NOR Logikgatter Bausteine haben eine besondere Bedeutung. Diese sind universell, da zB aus einem NAND alle anderen, wie AND, OR, NOT abgeleitet werden können. Insbesondere bei FPGAs kommen sie zum Einsatz, da man einfach ein grosses Array aus FPGAs herstellen muss und man dann damit beliebige Schaltungen beschreiben kann. Diese Herleitungen kommen aus der boolsche Algebra.

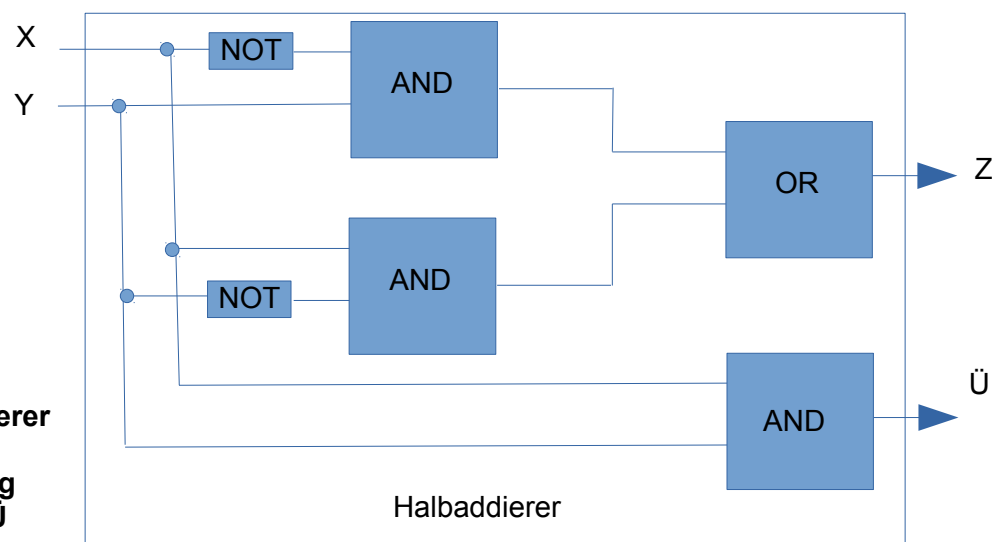




Logiktablelle: **XOR**

| Eingang | | Ausgang |
|---------|---|---------|
| X | Y | Z |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

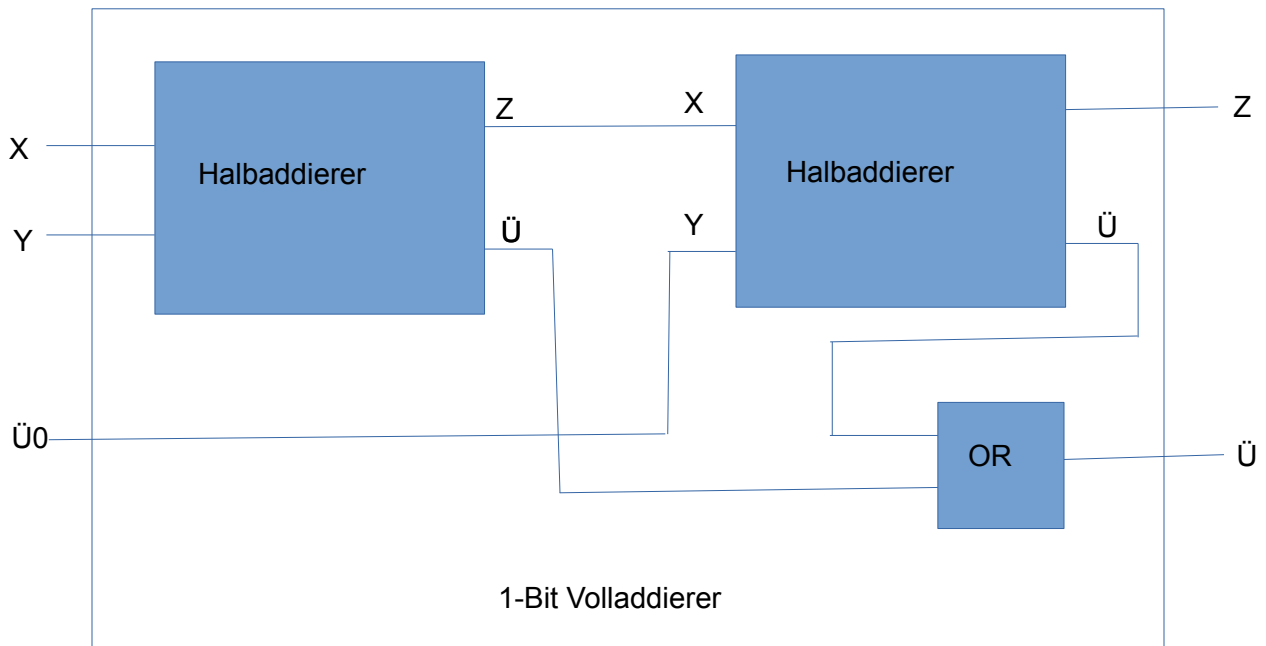
Das XOR-Gatter kann zu einem sogenannten Halbaddierer zusammengefasst werden, indem man es mit einer Übertragsleitung noch versieht. Denn bei der binären Addition von 1+1 ergibt sich ein Übertrag auf die nächste Stelle und die soll ja nicht vergessen werden.



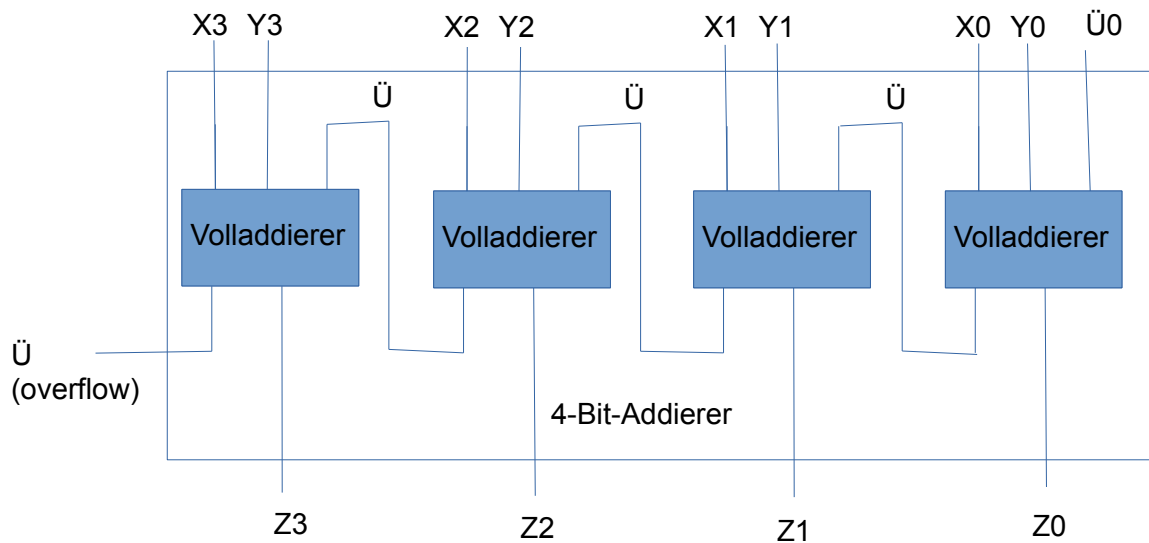
Logiktablelle: **Halbaddierer**

| Eingang | | Ausgang | |
|---------|---|---------|---|
| X | Y | Z | Ü |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

Aus zwei Halbaddierern kann ein 1-Bit Volladdierer gebaut werden, der einen Übertrag mit berücksichtigt

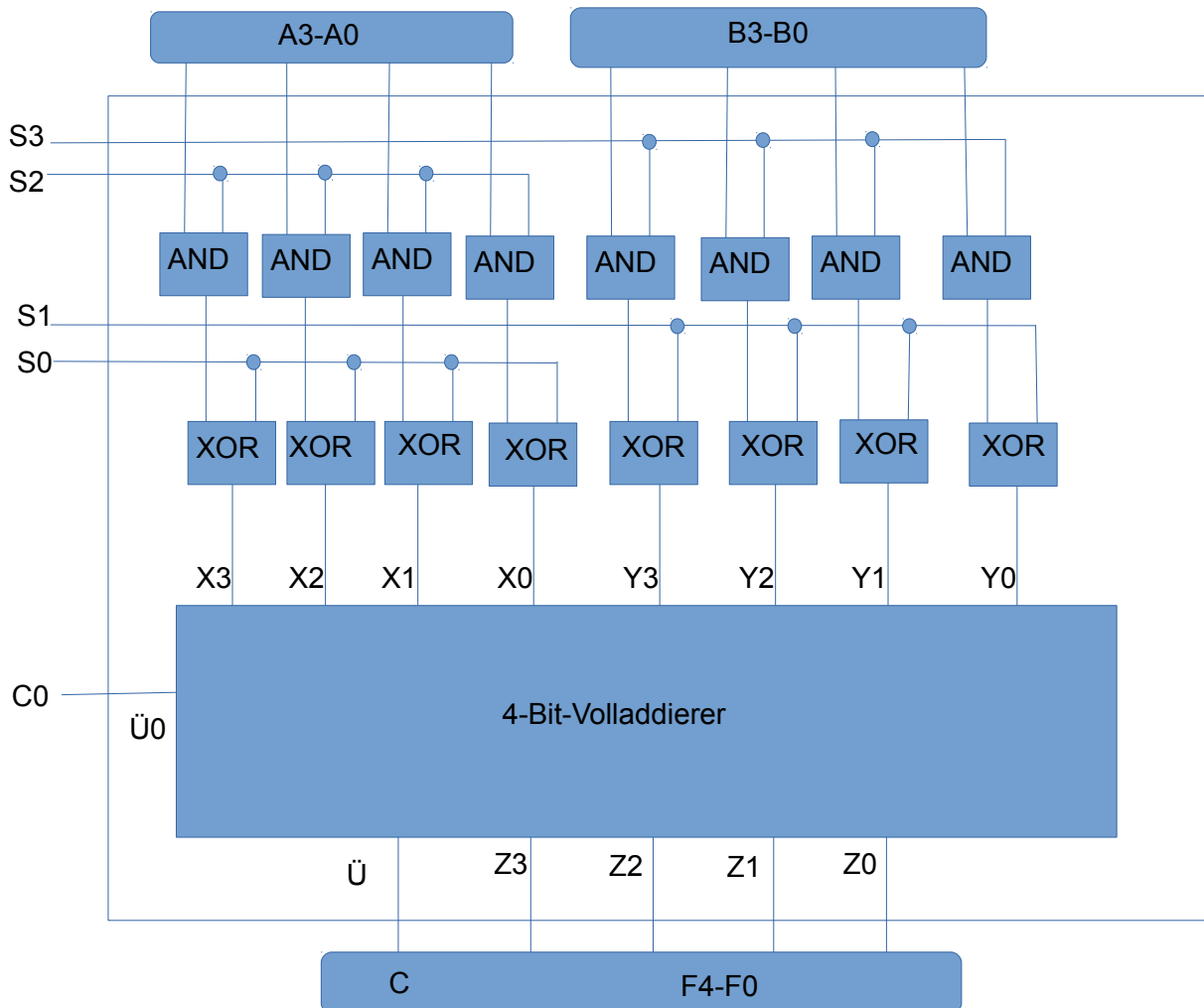


4-Bit-Addierer



2. Arithmetische Logische Einheit (ALU)

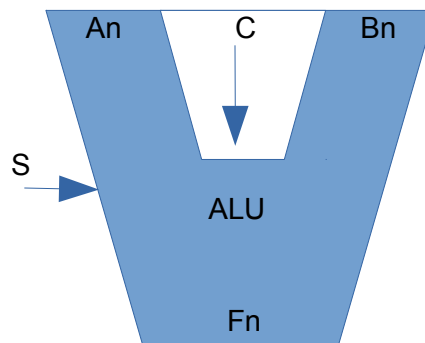
Die ALU ist das zentrale Element jeder CPU. In ihr werden Grundrechenarten und logische Operatoren ausgeführt, wie Plus, Minus, AND; OR, XOR. Da eine Subtraktion wie eine Addition funktioniert wird für eine ALU ein n-stelliger Volladdierer verwendet, der noch zusätzlich Steuerleitungen bekommt, die die jeweilige Operation auswählen.



| S3 | S2 | S1 | S0 | C | Funktion |
|----|----|----|----|---|-------------------------|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | Addition $F = A + B$ |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | Subtraktion $F = A - B$ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|-----------------------|
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | $F = !A$ |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | Negation $F = -A$ |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | Increment $F = A + 1$ |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | Decrement $F = A - 1$ |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | $F = A$ |

Das Grundsaltbild einer ALU sieht dann so aus



Fertige 4-Bit ALUs gibt es auch zu kaufen und laufen unter der Bezeichnung 74181 oder 74S381. Hier einige Beispieloperation des 74181 Bausteines

| Steuerleitungen | | | | Logische Operationen $M = 1$ | Arithmetische Operationen $M = 0$ | |
|-----------------|----|----|----|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| S0 | S1 | S2 | S3 | | $!Cn = 0$ | $!Cn = 1$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | $F = !A$ | $F = A + 1$ | $F = A$ |
| 0 | 0 | 0 | 1 | $F = !(A B)$ | $F = (A B) + 1$ | $F = (A B)$ |
| 0 | 0 | 1 | 0 | $F = !A \& B$ | $F = (A !B) + 1$ | $F = (A !B)$ |
| 0 | 0 | 1 | 1 | $F = 0$ | $F = 0$ | $F = -1$ |
| 0 | 1 | 0 | 0 | $F = !(A \& B)$ | $F = A + (A \& !A) + 1$ | $F = A + (A \& !B)$ |
| 0 | 1 | 0 | 1 | $F = !B$ | $F = (A B) + (A \& !B) + 1$ | $F = (A B) + (A \& !B)$ |

Datei für LogiSim: <http://www.cburch.com/logisim>

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>

<project source="2.7.1" version="1.0">

This file is intended to be loaded by Logisim
(http://www.cburch.com/logisim/).

<lib desc="#Wiring" name="0">

    <tool name="Clock">

        <a name="labelloc" val="north"/>

        <a name="labelfont" val="SansSerif bold 14"/>

    </tool>

</lib>

<lib desc="#Gates" name="1"/>

<lib desc="#Plexers" name="2"/>

<lib desc="#Arithmetic" name="3"/>

<lib desc="#Memory" name="4">

    <tool name="ROM">

        <a name="contents">addr/data: 8 8

0

        </a>

    </tool>

</lib>

<lib desc="#I/O" name="5"/>

<lib desc="#Base" name="6">

    <tool name="Text Tool">

        <a name="text" val=""/>

        <a name="font" val="SansSerif plain 12"/>

    </tool>

</lib>
```

```

    <a name="halign" val="center"/>

    <a name="valign" val="base"/>

</tool>

</lib>

<main name="main"/>

<options>

    <a name="gateUndefined" val="ignore"/>

    <a name="simlimit" val="1000"/>

    <a name="simrand" val="0"/>

</options>

<mappings>

    <tool lib="6" map="Button2" name="Menu Tool"/>

    <tool lib="6" map="Button3" name="Menu Tool"/>

    <tool lib="6" map="Ctrl Button1" name="Menu Tool"/>

</mappings>

<toolbar>

    <tool lib="6" name="Poke Tool"/>

    <tool lib="6" name="Edit Tool"/>

    <tool lib="6" name="Text Tool">

        <a name="text" val=""/>

        <a name="font" val="SansSerif plain 12"/>

        <a name="halign" val="center"/>

        <a name="valign" val="base"/>

    </tool>

    <sep/>

    <tool lib="0" name="Pin">

```

```

    <a name="tristate" val="false"/>
</tool>

<tool lib="0" name="Pin">

    <a name="facing" val="west"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="labelloc" val="east"/>

</tool>

<tool lib="1" name="NOT Gate"/>

<tool lib="1" name="AND Gate"/>

<tool lib="1" name="OR Gate"/>

</toolbar>

<circuit name="main">

    <a name="circuit" val="main"/>

    <a name="clabel" val=""/>

    <a name="clabelup" val="east"/>

    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>

</circuit>

<circuit name="NAND (AND+NOT)">

    <a name="circuit" val="NAND (AND+NOT)"/>

    <a name="clabel" val=""/>

    <a name="clabelup" val="east"/>

    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>

    <wire from="(290,130)" to="(300,130)"/>

    <wire from="(250,130)" to="(260,130)"/>

    <wire from="(180,110)" to="(200,110)"/>

    <wire from="(180,150)" to="(200,150)"/>

```

```

<comp lib="1" loc="(290,130)" name="NOT Gate"/>
<comp lib="0" loc="(300,130)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Z"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(180,150)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Y"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(199,82)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="1" loc="(250,130)" name="AND Gate">
  <a name="inputs" val="2"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(180,110)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X"/>
</comp>
</circuit>
<circuit name="NOT (NAND)">
  <a name="circuit" val="NOT (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>

```

```

<a name="clabelup" val="east"/>
<a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
<wire from="(140,100)" to="(140,110)"/>
<wire from="(120,110)" to="(140,110)"/>
<wire from="(140,100)" to="(160,100)"/>
<wire from="(140,110)" to="(160,110)"/>
<wire from="(190,100)" to="(210,100)"/>
<comp lib="6" loc="(157,61)" name="Text">
  <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(210,100)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp loc="(190,100)" name="NAND (AND+NOT)"/>
<comp lib="0" loc="(120,110)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X"/>
</comp>
</circuit>
<circuit name="AND (NAND)">
  <a name="circuit" val="AND (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>

```

```

<a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
<wire from="(90,110)" to="(100,110)"/>
<wire from="(100,100)" to="(110,100)"/>
<wire from="(140,90)" to="(180,90)"/>
<wire from="(100,100)" to="(100,110)"/>
<wire from="(210,90)" to="(260,90)"/>
<wire from="(90,90)" to="(110,90)"/>
<comp loc="(210,90)" name="NOT (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(132,49)" name="Text">
  <a name="text" val="AND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(260,90)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(90,90)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X"/>
</comp>
<comp loc="(140,90)" name="NAND (AND+NOT)"/>
<comp lib="0" loc="(90,110)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Y"/>
</comp>

```

```

</circuit>

<circuit name="OR (NAND)">

  <a name="circuit" val="OR (NAND)"/>

  <a name="clabel" val=""/>

  <a name="clabelup" val="east"/>

  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>

  <wire from="(160,140)" to="(190,140)"/>

  <wire from="(160,100)" to="(190,100)"/>

  <wire from="(260,120)" to="(290,120)"/>

  <wire from="(260,110)" to="(290,110)"/>

  <wire from="(320,110)" to="(350,110)"/>

  <wire from="(260,120)" to="(260,140)"/>

  <wire from="(260,100)" to="(260,110)"/>

  <wire from="(220,140)" to="(260,140)"/>

  <wire from="(220,100)" to="(260,100)"/>

  <comp loc="(220,140)" name="NOT (NAND)"/>

  <comp lib="0" loc="(350,110)" name="Pin">

    <a name="facing" val="west"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Z"/>

    <a name="labelloc" val="east"/>

  </comp>

  <comp lib="0" loc="(160,140)" name="Pin">

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Y"/>

```



```

</comp>

<comp loc="(220,100)" name="NOT (NAND)"/>

<comp loc="(320,110)" name="NAND (AND+NOT)"/>

<comp lib="6" loc="(214,51)" name="Text">
  <a name="text" val="OR"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(160,100)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X"/>
</comp>
</circuit>

<circuit name="XOR (NAND)">
  <a name="circuit" val="XOR (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>
  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
  <wire from="(220,120)" to="(220,130)"/>
  <wire from="(220,70)" to="(220,80)"/>
  <wire from="(310,70)" to="(310,90)"/>
  <wire from="(310,100)" to="(310,120)"/>
  <wire from="(150,40)" to="(150,130)"/>
  <wire from="(110,40)" to="(150,40)"/>
  <wire from="(130,70)" to="(170,70)"/>
  <wire from="(270,70)" to="(310,70)"/>
  <wire from="(270,120)" to="(310,120)"/>
  <wire from="(230,40)" to="(230,70)"/>

```

```

<wire from="(130,170)" to="(230,170)"/>
<wire from="(130,70)" to="(130,170)"/>
<wire from="(360,90)" to="(390,90)"/>
<wire from="(310,90)" to="(330,90)"/>
<wire from="(310,100)" to="(330,100)"/>
<wire from="(230,130)" to="(230,170)"/>
<wire from="(110,70)" to="(130,70)"/>
<wire from="(150,130)" to="(170,130)"/>
<wire from="(200,130)" to="(220,130)"/>
<wire from="(220,120)" to="(240,120)"/>
<wire from="(200,70)" to="(220,70)"/>
<wire from="(220,80)" to="(240,80)"/>
<wire from="(150,40)" to="(230,40)"/>
<wire from="(230,130)" to="(240,130)"/>
<wire from="(230,70)" to="(240,70)"/>
<comp lib="0" loc="(390,90)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Z"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp loc="(360,90)" name="OR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(110,40)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
</comp>

```

```

    <comp loc="(200,70)" name="NOT (NAND)"/>
    <comp lib="0" loc="(110,70)" name="Pin">
      <a name="tristate" val="false"/>
    </comp>
    <comp loc="(270,70)" name="AND (NAND)"/>
    <comp loc="(200,130)" name="NOT (NAND)"/>
    <comp loc="(270,120)" name="AND (NAND)"/>
  </circuit>
  <circuit name="Halbaddierer">
    <a name="circuit" val="Halbaddierer"/>
    <a name="clabel" val=""/>
    <a name="clabelup" val="east"/>
    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
    <wire from="(110,140)" to="(140,140)"/>
    <wire from="(120,120)" to="(120,190)"/>
    <wire from="(110,120)" to="(120,120)"/>
    <wire from="(140,130)" to="(140,140)"/>
    <wire from="(190,120)" to="(260,120)"/>
    <wire from="(190,180)" to="(260,180)"/>
    <wire from="(120,190)" to="(160,190)"/>
    <wire from="(120,120)" to="(160,120)"/>
    <wire from="(140,140)" to="(140,180)"/>
    <wire from="(140,130)" to="(160,130)"/>
    <wire from="(140,180)" to="(160,180)"/>
    <comp lib="6" loc="(145,86)" name="Text">
      <a name="text" val="Halbaddierer"/>

```

```

</comp>
<comp loc="(190,120)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(260,180)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Ü"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(260,120)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Z"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(110,140)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Y"/>
</comp>
<comp loc="(190,180)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(110,120)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X"/>
</comp>
</circuit>

```

```

<circuit name="Volladdierer (NAND)">
  <a name="circuit" val="Volladdierer (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>
  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
  <wire from="(280,100)" to="(370,100)"/>
  <wire from="(280,190)" to="(370,190)"/>
  <wire from="(80,100)" to="(140,100)"/>
  <wire from="(190,200)" to="(250,200)"/>
  <wire from="(230,160)" to="(290,160)"/>
  <wire from="(120,110)" to="(120,120)"/>
  <wire from="(80,140)" to="(230,140)"/>
  <wire from="(120,110)" to="(140,110)"/>
  <wire from="(170,110)" to="(190,110)"/>
  <wire from="(230,110)" to="(250,110)"/>
  <wire from="(230,190)" to="(250,190)"/>
  <wire from="(170,100)" to="(250,100)"/>
  <wire from="(280,110)" to="(290,110)"/>
  <wire from="(290,110)" to="(290,160)"/>
  <wire from="(190,110)" to="(190,200)"/>
  <wire from="(80,120)" to="(120,120)"/>
  <wire from="(230,110)" to="(230,140)"/>
  <wire from="(230,160)" to="(230,190)"/>
  <comp lib="0" loc="(370,100)" name="Pin">
    <a name="facing" val="west"/>
    <a name="output" val="true"/>

```

```

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Z"/>

    <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(188,50)" name="Text">
    <a name="text" val="Volladdierer"/>
</comp>

<comp loc="(280,190)" name="OR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(80,120)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Y"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(80,100)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="X"/>
</comp>

<comp loc="(280,100)" name="Halbaddierer"/>
<comp lib="0" loc="(80,140)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Ü0"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(370,190)" name="Pin">
    <a name="facing" val="west"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Ü"/>

```

```

    <a name="labelloc" val="east"/>

</comp>

<comp loc="(170,100)" name="Halbaddierer"/>
</circuit>

<circuit name="4-Bit-Addierer (NAND)">

    <a name="circuit" val="4-Bit-Addierer (NAND)"/>

    <a name="clabel" val=""/>

    <a name="clabelup" val="east"/>

    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>

    <wire from="(410,180)" to="(410,250)"/>
    <wire from="(360,350)" to="(360,420)"/>
    <wire from="(90,370)" to="(210,370)"/>
    <wire from="(510,190)" to="(560,190)"/>
    <wire from="(270,190)" to="(320,190)"/>
    <wire from="(320,330)" to="(620,330)"/>
    <wire from="(90,70)" to="(520,70)"/>
    <wire from="(90,230)" to="(520,230)"/>
    <wire from="(350,180)" to="(390,180)"/>
    <wire from="(410,180)" to="(450,180)"/>
    <wire from="(520,170)" to="(560,170)"/>
    <wire from="(320,330)" to="(320,420)"/>
    <wire from="(280,290)" to="(370,290)"/>
    <wire from="(520,70)" to="(520,170)"/>
    <wire from="(600,180)" to="(600,350)"/>
    <wire from="(480,180)" to="(510,180)"/>
    <wire from="(300,170)" to="(320,170)"/>

```

```
<wire from="(300,310)" to="(300,420)"/>
<wire from="(480,170)" to="(500,170)"/>
<wire from="(590,170)" to="(620,170)"/>
<wire from="(200,170)" to="(220,170)"/>
<wire from="(250,180)" to="(270,180)"/>
<wire from="(210,190)" to="(220,190)"/>
<wire from="(250,170)" to="(260,170)"/>
<wire from="(520,180)" to="(520,230)"/>
<wire from="(210,190)" to="(210,370)"/>
<wire from="(260,170)" to="(260,420)"/>
<wire from="(90,90)" to="(410,90)"/>
<wire from="(90,250)" to="(410,250)"/>
<wire from="(390,190)" to="(450,190)"/>
<wire from="(280,290)" to="(280,420)"/>
<wire from="(500,170)" to="(500,310)"/>
<wire from="(510,180)" to="(510,190)"/>
<wire from="(270,180)" to="(270,190)"/>
<wire from="(390,180)" to="(390,190)"/>
<wire from="(90,130)" to="(200,130)"/>
<wire from="(90,290)" to="(200,290)"/>
<wire from="(360,350)" to="(600,350)"/>
<wire from="(410,90)" to="(410,170)"/>
<wire from="(300,180)" to="(300,270)"/>
<wire from="(410,170)" to="(450,170)"/>
<wire from="(520,180)" to="(560,180)"/>
<wire from="(300,180)" to="(320,180)"/>
```



```

<wire from="(350,170)" to="(370,170)"/>
<wire from="(620,170)" to="(620,330)"/>
<wire from="(200,130)" to="(200,170)"/>
<wire from="(200,180)" to="(200,290)"/>
<wire from="(200,180)" to="(220,180)"/>
<wire from="(90,270)" to="(300,270)"/>
<wire from="(90,110)" to="(300,110)"/>
<wire from="(300,110)" to="(300,170)"/>
<wire from="(300,310)" to="(500,310)"/>
<wire from="(370,170)" to="(370,290)"/>
<wire from="(590,180)" to="(600,180)"/>
<comp lib="0" loc="(280,420)" name="Pin">
  <a name="facing" val="north"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="F1"/>
  <a name="labelloc" val="south"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(320,420)" name="Pin">
  <a name="facing" val="north"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="F3"/>
  <a name="labelloc" val="south"/>
</comp>
<comp loc="(350,170)" name="Volladdierer (NAND)"/>

```

```

<comp loc="(590,170)" name="Volladdierer (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(90,370)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Ü0"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(90,230)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="B3"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(90,290)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="B0"/>
</comp>
<comp loc="(480,170)" name="Volladdierer (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(90,250)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="B2"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(90,110)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="A1"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(284,474)" name="Text">
  <a name="text" val="F"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(90,90)" name="Pin">

```

```

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="A2"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(300,420)" name="Pin">

    <a name="facing" val="north"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="F2"/>

    <a name="labelloc" val="south"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(260,420)" name="Pin">

    <a name="facing" val="north"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="F0"/>

    <a name="labelloc" val="south"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(90,70)" name="Pin">

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="A3"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(33,95)" name="Text">

    <a name="text" val="A"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(34,256)" name="Text">

    <a name="text" val="B"/>

```

```

</comp>

<comp lib="0" loc="(90,130)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="A0"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(32,177)" name="Text">
  <a name="text" val="+"/>
</comp>

<comp loc="(250,170)" name="Volladdierer (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(90,270)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="B1"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(360,420)" name="Pin">
  <a name="facing" val="north"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="U (overflow)"/>
  <a name="labelloc" val="south"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(177,435)" name="Text">
  <a name="text" val="="/>
</comp>

</circuit>

<circuit name="ALU (NAND)">
  <a name="circuit" val="ALU (NAND)"/>

```

```

<a name="clabel" val=""/>
<a name="clabelup" val="east"/>
<a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
<wire from="(420,370)" to="(480,370)"/>
<wire from="(50,430)" to="(360,430)"/>
<wire from="(780,130)" to="(780,450)"/>
<wire from="(610,360)" to="(670,360)"/>
<wire from="(510,450)" to="(630,450)"/>
<wire from="(630,320)" to="(670,320)"/>
<wire from="(710,390)" to="(710,420)"/>
<wire from="(420,50)" to="(420,130)"/>
<wire from="(110,50)" to="(110,200)"/>
<wire from="(450,250)" to="(450,280)"/>
<wire from="(320,450)" to="(360,450)"/>
<wire from="(50,370)" to="(50,400)"/>
<wire from="(70,310)" to="(360,310)"/>
<wire from="(70,310)" to="(70,340)"/>
<wire from="(390,360)" to="(480,360)"/>
<wire from="(390,240)" to="(480,240)"/>
<wire from="(590,350)" to="(590,390)"/>
<wire from="(380,50)" to="(380,150)"/>
<wire from="(450,310)" to="(480,310)"/>
<wire from="(540,180)" to="(540,470)"/>
<wire from="(510,240)" to="(650,240)"/>
<wire from="(300,50)" to="(300,420)"/>
<wire from="(90,220)" to="(420,220)"/>

```

```
<wire from="(230,330)" to="(360,330)"/>
<wire from="(360,160)" to="(750,160)"/>
<wire from="(300,420)" to="(360,420)"/>
<wire from="(50,50)" to="(50,370)"/>
<wire from="(140,50)" to="(140,180)"/>
<wire from="(450,50)" to="(450,120)"/>
<wire from="(420,460)" to="(480,460)"/>
<wire from="(380,150)" to="(760,150)"/>
<wire from="(400,140)" to="(770,140)"/>
<wire from="(70,50)" to="(70,250)"/>
<wire from="(50,400)" to="(360,400)"/>
<wire from="(750,160)" to="(750,420)"/>
<wire from="(510,300)" to="(630,300)"/>
<wire from="(630,370)" to="(670,370)"/>
<wire from="(570,340)" to="(670,340)"/>
<wire from="(680,450)" to="(780,450)"/>
<wire from="(420,430)" to="(420,460)"/>
<wire from="(570,340)" to="(570,360)"/>
<wire from="(190,50)" to="(190,270)"/>
<wire from="(420,130)" to="(780,130)"/>
<wire from="(70,280)" to="(360,280)"/>
<wire from="(70,280)" to="(70,310)"/>
<wire from="(390,330)" to="(480,330)"/>
<wire from="(390,450)" to="(480,450)"/>
<wire from="(700,390)" to="(700,430)"/>
<wire from="(450,280)" to="(480,280)"/>
```

```

<wire from="(770,140)" to="(770,440)"/>
<wire from="(210,300)" to="(360,300)"/>
<wire from="(640,310)" to="(670,310)"/>
<wire from="(110,200)" to="(450,200)"/>
<wire from="(790,120)" to="(790,410)"/>
<wire from="(140,180)" to="(540,180)"/>
<wire from="(280,390)" to="(360,390)"/>
<wire from="(690,440)" to="(770,440)"/>
<wire from="(420,430)" to="(480,430)"/>
<wire from="(510,360)" to="(570,360)"/>
<wire from="(50,370)" to="(360,370)"/>
<wire from="(700,430)" to="(760,430)"/>
<wire from="(280,50)" to="(280,390)"/>
<wire from="(420,220)" to="(420,370)"/>
<wire from="(650,380)" to="(650,470)"/>
<wire from="(710,420)" to="(750,420)"/>
<wire from="(190,270)" to="(360,270)"/>
<wire from="(260,360)" to="(360,360)"/>
<wire from="(420,400)" to="(420,430)"/>
<wire from="(450,310)" to="(450,340)"/>
<wire from="(540,470)" to="(650,470)"/>
<wire from="(230,50)" to="(230,330)"/>
<wire from="(400,50)" to="(400,140)"/>
<wire from="(50,430)" to="(50,460)"/>
<wire from="(70,250)" to="(360,250)"/>
<wire from="(70,250)" to="(70,280)"/>

```

```
<wire from="(390,300)" to="(480,300)"/>
<wire from="(390,420)" to="(480,420)"/>
<wire from="(450,250)" to="(480,250)"/>
<wire from="(650,300)" to="(670,300)"/>
<wire from="(650,380)" to="(670,380)"/>
<wire from="(90,50)" to="(90,220)"/>
<wire from="(360,50)" to="(360,160)"/>
<wire from="(720,410)" to="(790,410)"/>
<wire from="(510,390)" to="(590,390)"/>
<wire from="(690,390)" to="(690,440)"/>
<wire from="(590,350)" to="(670,350)"/>
<wire from="(510,270)" to="(640,270)"/>
<wire from="(170,50)" to="(170,240)"/>
<wire from="(170,240)" to="(360,240)"/>
<wire from="(420,400)" to="(480,400)"/>
<wire from="(50,460)" to="(360,460)"/>
<wire from="(760,150)" to="(760,430)"/>
<wire from="(320,50)" to="(320,450)"/>
<wire from="(420,370)" to="(420,400)"/>
<wire from="(450,280)" to="(450,310)"/>
<wire from="(630,370)" to="(630,450)"/>
<wire from="(510,420)" to="(610,420)"/>
<wire from="(630,300)" to="(630,320)"/>
<wire from="(50,400)" to="(50,430)"/>
<wire from="(70,340)" to="(360,340)"/>
<wire from="(720,390)" to="(720,410)"/>
```



```

<wire from="(390,270)" to="(480,270)"/>
<wire from="(390,390)" to="(480,390)"/>
<wire from="(640,270)" to="(640,310)"/>
<wire from="(450,340)" to="(480,340)"/>
<wire from="(510,330)" to="(670,330)"/>
<wire from="(450,120)" to="(790,120)"/>
<wire from="(450,200)" to="(450,250)"/>
<wire from="(260,50)" to="(260,360)"/>
<wire from="(610,360)" to="(610,420)"/>
<wire from="(650,240)" to="(650,300)"/>
<wire from="(680,390)" to="(680,450)"/>
<wire from="(210,50)" to="(210,300)"/>
<comp loc="(390,330)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(510,390)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(190,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="A2"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(230,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="A0"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>

```

```

<comp loc="(390,300)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(510,360)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(420,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="F0"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(390,270)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(510,240)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(260,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="B3"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(510,330)" name="XOR (NAND)"/>
<comp loc="(390,390)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(360,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="F3"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>

```

```

<comp lib="0" loc="(320,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="B0"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(400,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="F1"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(50,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="S3"/>
  <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>

<comp loc="(390,420)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(510,450)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(450,50)" name="Pin">
  <a name="facing" val="south"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="C"/>

```

```

    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(70,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="S2"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(390,240)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(510,270)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(210,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="A1"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(670,300)" name="4-Bit-Addierer (NAND)"/>
<comp loc="(390,360)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(380,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="output" val="true"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="F2"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(140,50)" name="Pin">

```

```

    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="C0"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(510,420)" name="XOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(90,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="S1"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(300,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="B1"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(390,450)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(170,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="A3"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(280,50)" name="Pin">

```

```

    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="B2"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(110,50)" name="Pin">
    <a name="facing" val="south"/>
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="S0"/>
    <a name="labelloc" val="north"/>
</comp>
<comp loc="(510,300)" name="XOR (NAND)"/>
</circuit>
<circuit name="RS-Latch (NAND)">
    <a name="circuit" val="RS-Latch (NAND)"/>
    <a name="clabel" val=""/>
    <a name="clabelup" val="east"/>
    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
    <wire from="(160,90)" to="(190,90)"/>
    <wire from="(220,80)" to="(250,80)"/>
    <wire from="(220,160)" to="(250,160)"/>
    <wire from="(340,90)" to="(340,160)"/>
    <wire from="(160,140)" to="(250,140)"/>
    <wire from="(250,160)" to="(340,160)"/>
    <wire from="(130,80)" to="(190,80)"/>
    <wire from="(130,170)" to="(190,170)"/>

```

```

<wire from="(340,90)" to="(360,90)"/>
<wire from="(350,160)" to="(370,160)"/>
<wire from="(170,120)" to="(170,160)"/>
<wire from="(250,80)" to="(250,120)"/>
<wire from="(170,160)" to="(190,160)"/>
<wire from="(360,80)" to="(360,90)"/>
<wire from="(160,90)" to="(160,140)"/>
<wire from="(170,120)" to="(250,120)"/>
<wire from="(360,80)" to="(370,80)"/>
<wire from="(350,80)" to="(350,160)"/>
<wire from="(250,140)" to="(250,160)"/>
<wire from="(250,80)" to="(350,80)"/>
<comp loc="(220,80)" name="NOR (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(370,160)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="label" val="!Q"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(130,80)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="S"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(130,170)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="R"/>

```

```

</comp>

<comp lib="6" loc="(204,170)" name="Text">
  <a name="text" val="NOR"/>
</comp>

<comp loc="(220,160)" name="NOR (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(205,89)" name="Text">
  <a name="text" val="NOR"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(370,80)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Q"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>

</circuit>

<circuit name="NOR (NAND)">
  <a name="circuit" val="NOR (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>
  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
  <wire from="(210,100)" to="(240,100)"/>
  <wire from="(160,120)" to="(170,120)"/>
  <wire from="(170,110)" to="(180,110)"/>
  <wire from="(270,100)" to="(300,100)"/>
  <wire from="(170,110)" to="(170,120)"/>

```



```

<wire from="(160,100)" to="(180,100)"/>
<comp loc="(210,100)" name="OR (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(256,104)" name="Text">
  <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(300,100)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Z"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(160,100)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X"/>
</comp>
<comp loc="(270,100)" name="NOT (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(194,108)" name="Text">
  <a name="text" val="OR"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(160,120)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Y"/>
</comp>
</circuit>
<circuit name="D-Latch (NAND)">

```

```

<a name="circuit" val="D-Latch (NAND)"/>
<a name="clabel" val=""/>
<a name="clabelup" val="east"/>
<a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
<wire from="(160,140)" to="(190,140)"/>
<wire from="(160,210)" to="(190,210)"/>
<wire from="(50,130)" to="(80,130)"/>
<wire from="(280,180)" to="(370,180)"/>
<wire from="(130,220)" to="(190,220)"/>
<wire from="(300,200)" to="(320,200)"/>
<wire from="(350,130)" to="(370,130)"/>
<wire from="(350,200)" to="(370,200)"/>
<wire from="(300,160)" to="(300,200)"/>
<wire from="(280,140)" to="(280,180)"/>
<wire from="(80,220)" to="(100,220)"/>
<wire from="(160,160)" to="(160,210)"/>
<wire from="(370,180)" to="(370,200)"/>
<wire from="(50,160)" to="(160,160)"/>
<wire from="(80,130)" to="(190,130)"/>
<wire from="(160,140)" to="(160,160)"/>
<wire from="(370,130)" to="(370,160)"/>
<wire from="(80,130)" to="(80,220)"/>
<wire from="(280,140)" to="(320,140)"/>
<wire from="(370,160)" to="(410,160)"/>
<wire from="(370,200)" to="(410,200)"/>
<wire from="(300,160)" to="(370,160)"/>

```

```

<wire from="(220,130)" to="(320,130)"/>
<wire from="(220,210)" to="(320,210)"/>
<comp loc="(350,200)" name="NAND (AND+NOT)"/>
<comp lib="0" loc="(50,130)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="D"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(207,113)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(410,160)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Q"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(329,110)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(410,200)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="!Q"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>

```

```

</comp>

<comp loc="(350,130)" name="NAND (AND+NOT)"/>

<comp loc="(130,220)" name="NOT (NAND)"/>

<comp loc="(220,130)" name="NAND (AND+NOT)"/>

<comp lib="6" loc="(204,193)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(329,238)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(50,160)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="E"/>
</comp>

<comp loc="(220,210)" name="NAND (AND+NOT)"/>

<comp lib="6" loc="(115,224)" name="Text">
  <a name="text" val="NOT"/>
</comp>

</circuit>

<circuit name="D-FlipFlop (NAND)">
  <a name="circuit" val="D-FlipFlop (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>
  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
  <wire from="(220,140)" to="(250,140)"/>
  <wire from="(170,200)" to="(230,200)"/>

```

```

<wire from="(220,140)" to="(220,150)"/>
<wire from="(50,150)" to="(70,150)"/>
<wire from="(130,140)" to="(150,140)"/>
<wire from="(230,150)" to="(250,150)"/>
<wire from="(50,80)" to="(130,80)"/>
<wire from="(70,150)" to="(150,150)"/>
<wire from="(230,150)" to="(230,200)"/>
<wire from="(70,150)" to="(70,200)"/>
<wire from="(180,150)" to="(220,150)"/>
<wire from="(70,200)" to="(140,200)"/>
<wire from="(280,140)" to="(320,140)"/>
<wire from="(130,80)" to="(130,140)"/>
<comp loc="(180,140)" name="D-Latch (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(50,150)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="E"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(263,119)" name="Text">
  <a name="text" val="D-Latch"/>
</comp>
<comp loc="(280,140)" name="D-Latch (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(156,207)" name="Text">
  <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp loc="(170,200)" name="NOT (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(50,80)" name="Pin">

```

```

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="D"/>

</comp>

<comp lib="6" loc="(163,123)" name="Text">

    <a name="text" val="D-Latch"/>

</comp>

<comp lib="0" loc="(320,140)" name="Pin">

    <a name="facing" val="west"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="Q"/>

    <a name="labelloc" val="east"/>

</comp>

</circuit>

<circuit name="JK-FlipFlop (NAND)">

    <a name="circuit" val="JK-FlipFlop (NAND)"/>

    <a name="clabel" val=""/>

    <a name="clabelup" val="east"/>

    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>

    <wire from="(100,110)" to="(160,110)"/>

    <wire from="(70,150)" to="(120,150)"/>

    <wire from="(360,180)" to="(360,190)"/>

    <wire from="(120,150)" to="(230,150)"/>

    <wire from="(130,60)" to="(360,60)"/>

    <wire from="(130,310)" to="(360,310)"/>

    <wire from="(120,260)" to="(160,260)"/>

```

```
<wire from="(280,140)" to="(280,170)"/>
<wire from="(70,190)" to="(300,190)"/>
<wire from="(210,230)" to="(210,260)"/>
<wire from="(130,270)" to="(160,270)"/>
<wire from="(130,100)" to="(160,100)"/>
<wire from="(70,220)" to="(100,220)"/>
<wire from="(330,170)" to="(360,170)"/>
<wire from="(330,180)" to="(360,180)"/>
<wire from="(360,190)" to="(390,190)"/>
<wire from="(360,170)" to="(390,170)"/>
<wire from="(260,140)" to="(280,140)"/>
<wire from="(280,170)" to="(300,170)"/>
<wire from="(280,180)" to="(300,180)"/>
<wire from="(260,220)" to="(280,220)"/>
<wire from="(130,60)" to="(130,100)"/>
<wire from="(130,270)" to="(130,310)"/>
<wire from="(210,100)" to="(210,140)"/>
<wire from="(360,60)" to="(360,170)"/>
<wire from="(280,180)" to="(280,220)"/>
<wire from="(190,100)" to="(210,100)"/>
<wire from="(210,140)" to="(230,140)"/>
<wire from="(190,260)" to="(210,260)"/>
<wire from="(100,110)" to="(100,220)"/>
<wire from="(120,150)" to="(120,260)"/>
<wire from="(210,230)" to="(230,230)"/>
<wire from="(360,190)" to="(360,310)"/>
```

```

<wire from="(100,220)" to="(230,220)"/>
<comp loc="(330,170)" name="RS-FlipFlop (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(174,245)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(175,85)" name="Text">
  <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(70,220)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="K"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(245,230)" name="Text">
  <a name="text" val="AND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(390,190)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="!Q"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(70,190)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="CLK"/>
</comp>

```



```

<comp lib="0" loc="(70,150)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="J"/>
</comp>

<comp loc="(190,100)" name="NAND (AND+NOT)"/>
<comp lib="6" loc="(319,156)" name="Text">
  <a name="text" val="RS-FlipFlop"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(390,170)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Q"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>

<comp loc="(260,140)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(260,220)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(246,148)" name="Text">
  <a name="text" val="AND"/>
</comp>

<comp loc="(190,260)" name="NAND (AND+NOT)"/>
</circuit>

<circuit name="RS-FlipFlop (NAND)">
  <a name="circuit" val="RS-FlipFlop (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>

```

```

<a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
<wire from="(290,90)" to="(290,160)"/>
<wire from="(410,110)" to="(470,110)"/>
<wire from="(440,120)" to="(440,130)"/>
<wire from="(270,100)" to="(270,120)"/>
<wire from="(270,130)" to="(270,150)"/>
<wire from="(360,90)" to="(360,110)"/>
<wire from="(290,160)" to="(290,240)"/>
<wire from="(70,200)" to="(70,220)"/>
<wire from="(70,220)" to="(70,240)"/>
<wire from="(200,130)" to="(200,150)"/>
<wire from="(360,120)" to="(360,150)"/>
<wire from="(270,100)" to="(310,100)"/>
<wire from="(270,150)" to="(310,150)"/>
<wire from="(50,150)" to="(150,150)"/>
<wire from="(50,90)" to="(150,90)"/>
<wire from="(200,90)" to="(200,120)"/>
<wire from="(410,120)" to="(440,120)"/>
<wire from="(440,130)" to="(470,130)"/>
<wire from="(70,240)" to="(290,240)"/>
<wire from="(290,90)" to="(310,90)"/>
<wire from="(290,160)" to="(310,160)"/>
<wire from="(340,90)" to="(360,90)"/>
<wire from="(360,110)" to="(380,110)"/>
<wire from="(340,150)" to="(360,150)"/>
<wire from="(360,120)" to="(380,120)"/>

```

```

<wire from="(130,160)" to="(130,200)"/>
<wire from="(50,220)" to="(70,220)"/>
<wire from="(110,200)" to="(130,200)"/>
<wire from="(130,100)" to="(150,100)"/>
<wire from="(130,160)" to="(150,160)"/>
<wire from="(180,150)" to="(200,150)"/>
<wire from="(180,90)" to="(200,90)"/>
<wire from="(250,120)" to="(270,120)"/>
<wire from="(250,130)" to="(270,130)"/>
<wire from="(200,130)" to="(220,130)"/>
<wire from="(200,120)" to="(220,120)"/>
<wire from="(70,200)" to="(80,200)"/>
<wire from="(130,100)" to="(130,160)"/>
<comp lib="6" loc="(324,98)" name="Text">
  <a name="text" val="AND"/>
</comp>
<comp loc="(180,90)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(340,150)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(50,90)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="S"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(470,110)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>

```

```

    <a name="label" val="Q"/>

    <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(394,144)" name="Text">
    <a name="text" val="RS-Latch"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(326,161)" name="Text">
    <a name="text" val="AND"/>
</comp>

<comp lib="6" loc="(164,99)" name="Text">
    <a name="text" val="AND"/>
</comp>

<comp loc="(250,120)" name="RS-Latch (NAND)"/>
<comp loc="(180,150)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(94,206)" name="Text">
    <a name="text" val="NOT"/>
</comp>

<comp loc="(110,200)" name="NOT (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(235,152)" name="Text">
    <a name="text" val="RS-Latch"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(470,130)" name="Pin">
    <a name="facing" val="west"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="!Q"/>

```

```

    <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(50,150)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="R"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(166,160)" name="Text">
    <a name="text" val="AND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(50,220)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="CLK"/>
</comp>
<comp loc="(340,90)" name="AND (NAND)"/>
<comp loc="(410,110)" name="RS-Latch (NAND)"/>
</circuit>
<circuit name="JK-FlipFlop RS (NAND)">
    <a name="circuit" val="JK-FlipFlop RS (NAND)"/>
    <a name="clabel" val=""/>
    <a name="clabelup" val="east"/>
    <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
    <wire from="(520,340)" to="(520,350)"/>
    <wire from="(1170,170)" to="(1170,190)"/>
    <wire from="(1000,240)" to="(1120,240)"/>
    <wire from="(620,200)" to="(670,200)"/>
    <wire from="(890,170)" to="(890,180)"/>

```

```
<wire from="(620,180)" to="(670,180)"/>
<wire from="(1120,310)" to="(1160,310)"/>
<wire from="(560,340)" to="(560,470)"/>
<wire from="(1230,340)" to="(1270,340)"/>
<wire from="(740,190)" to="(740,260)"/>
<wire from="(740,270)" to="(740,340)"/>
<wire from="(1230,120)" to="(1230,340)"/>
<wire from="(610,260)" to="(610,330)"/>
<wire from="(770,180)" to="(830,180)"/>
<wire from="(420,120)" to="(1230,120)"/>
<wire from="(700,190)" to="(740,190)"/>
<wire from="(620,90)" to="(620,180)"/>
<wire from="(1060,170)" to="(1120,170)"/>
<wire from="(1060,310)" to="(1120,310)"/>
<wire from="(990,300)" to="(1030,300)"/>
<wire from="(350,330)" to="(450,330)"/>
<wire from="(1240,190)" to="(1240,390)"/>
<wire from="(240,250)" to="(280,250)"/>
<wire from="(1010,320)" to="(1030,320)"/>
<wire from="(420,180)" to="(450,180)"/>
<wire from="(1270,190)" to="(1280,190)"/>
<wire from="(240,520)" to="(460,520)"/>
<wire from="(240,190)" to="(450,190)"/>
<wire from="(370,350)" to="(370,390)"/>
<wire from="(740,190)" to="(830,190)"/>
<wire from="(1000,180)" to="(1030,180)"/>
```

```
<wire from="(470,90)" to="(620,90)"/>
<wire from="(970,310)" to="(970,470)"/>
<wire from="(860,180)" to="(890,180)"/>
<wire from="(990,230)" to="(1120,230)"/>
<wire from="(1000,180)" to="(1000,240)"/>
<wire from="(370,350)" to="(450,350)"/>
<wire from="(420,120)" to="(420,180)"/>
<wire from="(490,520)" to="(560,520)"/>
<wire from="(620,90)" to="(950,90)"/>
<wire from="(620,270)" to="(740,270)"/>
<wire from="(1010,320)" to="(1010,330)"/>
<wire from="(480,190)" to="(670,190)"/>
<wire from="(950,90)" to="(950,160)"/>
<wire from="(990,230)" to="(990,300)"/>
<wire from="(970,310)" to="(1030,310)"/>
<wire from="(350,410)" to="(720,410)"/>
<wire from="(610,330)" to="(670,330)"/>
<wire from="(1160,310)" to="(1160,340)"/>
<wire from="(620,200)" to="(620,270)"/>
<wire from="(770,330)" to="(830,330)"/>
<wire from="(700,340)" to="(740,340)"/>
<wire from="(350,250)" to="(350,330)"/>
<wire from="(350,330)" to="(350,410)"/>
<wire from="(1120,240)" to="(1120,310)"/>
<wire from="(350,200)" to="(450,200)"/>
<wire from="(560,340)" to="(670,340)"/>
```

```

<wire from="(770,330)" to="(770,410)"/>
<wire from="(310,250)" to="(350,250)"/>
<wire from="(370,390)" to="(1240,390)"/>
<wire from="(770,180)" to="(770,330)"/>
<wire from="(480,340)" to="(520,340)"/>
<wire from="(1120,170)" to="(1170,170)"/>
<wire from="(520,350)" to="(670,350)"/>
<wire from="(1270,340)" to="(1280,340)"/>
<wire from="(750,410)" to="(770,410)"/>
<wire from="(860,330)" to="(1010,330)"/>
<wire from="(1170,190)" to="(1240,190)"/>
<wire from="(1160,340)" to="(1230,340)"/>
<wire from="(240,340)" to="(450,340)"/>
<wire from="(740,340)" to="(830,340)"/>
<wire from="(1120,170)" to="(1120,230)"/>
<wire from="(560,470)" to="(970,470)"/>
<wire from="(1240,190)" to="(1270,190)"/>
<wire from="(610,260)" to="(740,260)"/>
<wire from="(350,200)" to="(350,250)"/>
<wire from="(890,170)" to="(1030,170)"/>
<wire from="(560,470)" to="(560,520)"/>
<wire from="(240,90)" to="(440,90)"/>
<wire from="(950,160)" to="(1030,160)"/>
<comp loc="(480,190)" name="NAND 3x (NAND)"/>
<comp loc="(1060,170)" name="NAND 3x (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(1270,190)" name="Pin">

```



```

    <a name="facing" val="west"/>

    <a name="output" val="true"/>

    <a name="label" val="Q"/>

    <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(464,167)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp loc="(490,520)" name="NOT (NAND)"/>
<comp loc="(470,90)" name="NOT (NAND)"/>
<comp loc="(700,340)" name="NAND 3x (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(240,520)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>

    <a name="label" val="R"/>
</comp>
<comp loc="(1060,310)" name="NAND 3x (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(295,254)" name="Text">
    <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp loc="(310,250)" name="NOT (NAND)"/>
<comp loc="(750,410)" name="NOT (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(1044,150)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(1270,340)" name="Pin">
    <a name="facing" val="west"/>

```

```

    <a name="output" val="true"/>
    <a name="label" val="!Q"/>
    <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(240,250)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="CLK"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(240,190)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="J"/>
</comp>
<comp loc="(860,330)" name="NAND (AND+NOT)"/>
<comp lib="6" loc="(464,320)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp loc="(860,180)" name="NAND (AND+NOT)"/>
<comp loc="(700,190)" name="NAND 3x (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(240,340)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="K"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(475,524)" name="Text">
    <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(841,314)" name="Text">

```

```

    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(240,90)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="S"/>
</comp>
<comp loc="(480,340)" name="NAND 3x (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(840,161)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(1045,287)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(736,416)" name="Text">
    <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(684,165)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(685,317)" name="Text">
    <a name="text" val="NAND"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(456,94)" name="Text">
    <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
</circuit>

```

```

<circuit name="AND 3x (NAND)">
  <a name="circuit" val="AND 3x (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>
  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
  <wire from="(140,150)" to="(250,150)"/>
  <wire from="(280,140)" to="(310,140)"/>
  <wire from="(160,120)" to="(160,130)"/>
  <wire from="(140,110)" to="(180,110)"/>
  <wire from="(230,110)" to="(230,140)"/>
  <wire from="(140,130)" to="(160,130)"/>
  <wire from="(160,120)" to="(180,120)"/>
  <wire from="(210,110)" to="(230,110)"/>
  <wire from="(230,140)" to="(250,140)"/>
  <comp lib="6" loc="(195,118)" name="Text">
    <a name="text" val="AND"/>
  </comp>
  <comp loc="(280,140)" name="AND (NAND)"/>
  <comp lib="0" loc="(140,150)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="X3"/>
  </comp>
  <comp lib="0" loc="(140,110)" name="Pin">
    <a name="tristate" val="false"/>
    <a name="label" val="X1"/>
  </comp>

```

```

<comp lib="6" loc="(265,148)" name="Text">
  <a name="text" val="AND"/>
</comp>

<comp lib="0" loc="(140,130)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X2"/>
</comp>

<comp loc="(210,110)" name="AND (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(310,140)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="label" val="Z"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
</circuit>

<circuit name="NAND 3x (NAND)">
  <a name="circuit" val="NAND 3x (NAND)"/>
  <a name="clabel" val=""/>
  <a name="clabelup" val="east"/>
  <a name="clabelfont" val="SansSerif plain 12"/>
  <wire from="(140,180)" to="(170,180)"/>
  <wire from="(140,200)" to="(170,200)"/>
  <wire from="(270,190)" to="(300,190)"/>
  <wire from="(140,170)" to="(140,180)"/>
  <wire from="(140,200)" to="(140,210)"/>
  <wire from="(200,190)" to="(240,190)"/>

```

```

<wire from="(120,170)" to="(140,170)"/>
<wire from="(120,210)" to="(140,210)"/>
<wire from="(120,190)" to="(170,190)"/>
<comp lib="0" loc="(300,190)" name="Pin">
  <a name="facing" val="west"/>
  <a name="output" val="true"/>
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="Z"/>
  <a name="labelloc" val="east"/>
</comp>
<comp lib="6" loc="(254,194)" name="Text">
  <a name="text" val="NOT"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(120,210)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X3"/>
</comp>
<comp loc="(200,190)" name="AND 3x (NAND)"/>
<comp lib="0" loc="(120,170)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X1"/>
</comp>
<comp lib="0" loc="(120,190)" name="Pin">
  <a name="tristate" val="false"/>
  <a name="label" val="X2"/>
</comp>

```

```
<comp loc="(270,190)" name="NOT (NAND)"/>
<comp lib="6" loc="(186,195)" name="Text">
  <a name="text" val="AND"/>
</comp>
</circuit>
</project>
```