

# 1 MMIX-Befehle

## Laden aus Speicher

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
LDB	\$X, \$Y, \$Z	Load byte	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(M_1[u($Y) + u($Z)]))$
	\$X, \$Y, Z	Load byte immediate	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(M_1[u($Y) + u(Z)]))$
LDBU	\$X, \$Y, \$Z	Load byte unsigned	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(M_1[u($Y) + u($Z)]))$
	\$X, \$Y, Z	Load byte uns. immed.	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(M_1[u($Y) + u(Z)]))$
LDW	\$X, \$Y, \$Z	Load wyde	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(M_2[u($Y) + u($Z)]))$
	\$X, \$Y, Z	Load wyde immediate	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(M_2[u($Y) + u(Z)]))$
LDWU	\$X, \$Y, \$Z	Load wyde unsigned	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(M_2[u($Y) + u($Z)]))$
	\$X, \$Y, Z	Load wyde uns. immed.	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(M_2[u($Y) + u(Z)]))$
LDT	\$X, \$Y, \$Z	Load tetra	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(M_4[u($Y) + u($Z)]))$
	\$X, \$Y, Z	Load tetra immediate	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(M_4[u($Y) + u(Z)]))$
LDTU	\$X, \$Y, \$Z	Load tetra unsigned	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(M_4[u($Y) + u($Z)]))$
	\$X, \$Y, Z	Load tetra uns. immed.	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(M_4[u($Y) + u(Z)]))$
LDO	\$X, \$Y, \$Z	Load octa	$\$X \leftarrow M_8[u($Y) + u($Z)]$
	\$X, \$Y, Z	Load octa immediate	$\$X \leftarrow M_8[u($Y) + u(Z)]$
LDOU	\$X, \$Y, \$Z	Load octa unsigned	$\$X \leftarrow M_8[u($Y) + u($Z)]$
	\$X, \$Y, Z	Load octa uns. immed.	$\$X \leftarrow M_8[u($Y) + u(Z)]$

## Schieben

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
SL	\$X, \$Y, \$Z	Shift left; with overflow	$\$X \leftarrow u'_{64}(u($Y \ll u($Z)))$ $u($Y) \cdot 2^{u($Z)} \geq 2^{64} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^5)$
	\$X, \$Y, Z	Shift left immediate; with ovf.	$\$X \leftarrow u'_{64}(u($Y \ll u(Z)))$ $u($Y) \cdot 2^{u(Z)} \geq 2^{64} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^5)$
SLU	\$X, \$Y, \$Z	Shift left uns., no overflow	$\$X \leftarrow u'_{64}(u($Y \ll u($Z)))$
	\$X, \$Y, Z	Shift left uns. immed.; no ovf.	$\$X \leftarrow u'_{64}(u($Y \ll u(Z)))$
SR	\$X, \$Y, \$Z	Shift right; fill with sign	$\$X \leftarrow \$Y \gg^s u($Z)$
	\$X, \$Y, Z	Shift right imm.; fill with sign	$\$X \leftarrow \$Y \gg^s u(Z)$
SRU	\$X, \$Y, \$Z	Shift right unsigned; fill with 0	$\$X \leftarrow \$Y \gg^u u($Z)$
	\$X, \$Y, Z	Shift right uns. imm.; fill w. 0	$\$X \leftarrow \$Y \gg^u u(Z)$

## Schreiben in Speicher

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
STB	\$X, \$Y, \$Z	Store byte; with overflow	$M_1[u($Y) + u($Z)] \leftarrow (\$X)_{7...0}$ $s($X) \geq 2^7 \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $s($X) < -2^7 \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $M_1[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{7...0}$
	\$X, \$Y, Z	Store byte immed.; ovf.	$s($X) \geq 2^7 \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $s($X) < -2^7 \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$
STBU	\$X, \$Y, \$Z	Store byte unsigned	$M_1[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{7...0}$
	\$X, \$Y, Z	Store byte uns. imm.	$M_1[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{7...0}$
STW	\$X, \$Y, \$Z	Store wyde; with overflow	$M_2[u($Y) + u($Z)] \leftarrow (\$X)_{15...0}$ $s($X) \geq 2^{15} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $s($X) < -2^{15} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $M_2[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{15...0}$
	\$X, \$Y, Z	Store wyde immed.; ovf.	$s($X) \geq 2^{15} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $s($X) < -2^{15} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$
STWU	\$X, \$Y, \$Z	Store wyde unsigned	$M_2[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{15...0}$
	\$X, \$Y, Z	Store wyde uns. imm.	$M_2[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{15...0}$
STT	\$X, \$Y, \$Z	Store tetra; with overflow	$M_4[u($Y) + u($Z)] \leftarrow (\$X)_{31...0}$ $s($X) \geq 2^{31} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $s($X) < -2^{31} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $M_4[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{31...0}$
	\$X, \$Y, Z	Store tetra immed.; ovf.	$s($X) \geq 2^{31} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$ $s($X) < -2^{31} \Rightarrow rA \leftarrow rA   u'_{64}(2^6)$
STTU	\$X, \$Y, \$Z	Store byte unsigned	$M_4[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{31...0}$
	\$X, \$Y, Z	Store byte uns. imm.	$M_4[u($Y) + u(Z)] \leftarrow (\$X)_{31...0}$
STO	\$X, \$Y, \$Z	Store octa	$M_8[u($Y) + u(Z)] \leftarrow \$X$
	\$X, \$Y, Z	Store octa immediate	$M_8[u($Y) + u(Z)] \leftarrow \$X$
STOU	\$X, \$Y, \$Z	Store octa unsigned	$M_8[u($Y) + u(Z)] \leftarrow \$X$
	\$X, \$Y, Z	Store octa uns. imm.	$M_8[u($Y) + u(Z)] \leftarrow \$X$
<b>Marken auflösen/Adressen laden</b>			
LDA	\$X, \$Y, \$Z	Get address (absolute)	$\$X \leftarrow u'_{64}(u($Y) + u($Z))$
	\$X, \$Y, Z	Get address immed. (absolute)	$\$X \leftarrow u'_{64}(u($Y) + u(Z))$
GETA	\$X, YZ	Get address (relativ)	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(@) + 4 \cdot s(YZ))$

## Arithmetische Befehle (Festkomma)

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
ADD	\$X, \$Y, \$Z	Add; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) + s(\$Z))$ $(s(\$Y) + s(\$Z) < -2^{63}) \quad   $ $(s(\$Y) + s(\$Z) \geq 2^{63}) \Rightarrow$ $rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$
	\$X, \$Y, Z	Add immediate; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) + u(Z))$ $(s(\$Y) + s(Z) < -2^{63}) \quad   $ $(s(\$Y) + s(Z) \geq 2^{63}) \Rightarrow$ $rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$
ADDU	\$X, \$Y, \$Z	Add unsigned; no overflow	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$Y) + u(\$Z))$
	\$X, \$Y, Z	Add unsigned; no overflow	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$Y) + u(Z))$
SUB	\$X, \$Y, \$Z	Subtract; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) - s(\$Z))$ $(s(\$Y) - s(\$Z) < -2^{63}) \quad   $ $(s(\$Y) - s(\$Z) \geq 2^{63}) \Rightarrow$ $rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$
	\$X, \$Y, Z	Subtract immediate; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) - u(Z))$ $(s(\$Y) - s(Z) < -2^{63}) \quad   $ $(s(\$Y) - s(Z) \geq 2^{63}) \Rightarrow$ $rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$
SUBU	\$X, \$Y, \$Z	Subtract unsigned; no overflow	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$Y) - u(\$Z))$
	\$X, \$Y, Z	Subtract unsigned immed.; no ovf.	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$Y) - u(Z))$
NEG	\$X, Y, \$Z	Negate; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(u(Y) - s(\$Z))$ $u(Y) - s(Z) \geq 2^{63} \Rightarrow$ $rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$
	\$X, Y, Z	Negate immediate; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(u(Y) - s(Z))$
NEGU	\$X, Y, \$Z	Negate unsigned; no overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(u(Y) - s(\$Z))$
	\$X, Y, Z	Negate unsigned immed.; no overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(u(Y) - u(Z))$
MUL	\$X, \$Y, \$Z	Multiply; signed, with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) \cdot s(\$Z))$
	\$X, \$Y, Z	Multiply immediate; signed, with ovf.	$\$X \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) \cdot u(Z))$
MULU	\$X, \$Y, \$Z	Multiply unsigned; $rH \leftarrow (\$Y \cdot \$Z)_{127\dots64}$	$rH\$X \leftarrow u'_{128}(u(\$Y) \cdot u(\$Z))$
	\$X, \$Y, Z	Multiply uns. imm.; $rH \leftarrow (\$Y \cdot Z)_{127\dots64}$	$rH\$X \leftarrow u'_{128}(u(\$Y) \cdot u(Z))$
DIV	\$X, \$Y, \$Z	Divide; signed, with overflow (case $\$Z \neq 0$ )	$\$X \leftarrow s'_{64}( s(\$Y)/s(\$Z) )$ $rR \leftarrow s'_{64}(s(\$Y) \% s(\$Z))$
	\$X, \$Y, Z	Divide immediate; signed, with ovf. (case $\$Z = 0$ )	$\$X \leftarrow u'_{64}(0)$ $rR \leftarrow \$Y$

		Divide unsigned; no overflow; (case $u(\$Z) > u(rD)$ )	$\$X \leftarrow u'_{128}(\lfloor u(rD\$Y)/u(\$Z) \rfloor)$ $rR \leftarrow u'_{128}(u(rD\$Y) \% u(\$Z))$
DIVU	\$X, \$Y, \$Z	Divide unsigned; no overflow; no overflow (case $u(\$Z) \leq u(rD)$ )	$\$X \leftarrow rD$ $rR \leftarrow \$Y$
		Divide unsigned immediate; no overflow; (case $u(Z) > u(rD)$ )	$\$X \leftarrow u'_{128}(\lfloor u(rD\$Y)/u(Z) \rfloor)$ $rR \leftarrow u'_{128}(u(rD\$Y) \% u(Z))$
	\$X, \$Y, Z	Divide unsigned immediate; no overflow (case $u(Z) \leq u(rD)$ )	$\$X \leftarrow rD$ $rR \leftarrow \$Y$

## Arithmetische Befehle (Gleitkomma)

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
FADD	\$X, \$Y, \$Z	Floating point add	$\$X \leftarrow f'_{64}(f_{64}(\$Y) + f_{64}(\$Z))$
FSUB	\$X, \$Y, \$Z	Floating point subtract	$\$X \leftarrow f'_{64}(f_{64}(\$Y) - f_{64}(\$Z))$
FMUL	\$X, \$Y, \$Z	Floating point multiplication	$\$X \leftarrow f'_{64}(f_{64}(\$Y) \cdot f_{64}(\$Z))$
FDIV	\$X, \$Y, \$Z	Floating point divide	$\$X \leftarrow f'_{64}(f_{64}(\$Y)/f_{64}(\$Z))$
FSQRT	\$X, \$Z	Square root	$\$X \leftarrow f'_{64}(\sqrt{f_{64}(\$Z)})$

## Umwandlung Festkomma <-> Gleitkomma

FLOT	\$X, \$Z	Convert fixed to floating	$\$X \leftarrow f'_{64}(s(\$Z))$
	\$X, Z	Conv. fixed to float. imm.	$\$X \leftarrow f'_{64}(u(Z))$
FLOTU	\$X, \$Z	Conv. uns. fixed to floating	$\$X \leftarrow f'_{64}(u(\$Z))$
	\$X, Z	Conv. uns. fixed to float. imm.	$\$X \leftarrow f'_{64}(u(Z))$
FIX	\$X, \$Z	Convert floating to fixed with overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(r(f_{64}(\$Z)))$ $f_{64}(\$Z) < -2^{63} \Rightarrow rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$ $f_{64}(\$Z) > 2^{63} - 1 \Rightarrow rA \leftarrow rA u'_{64}(2^5)$
	\$X, \$Z	Convert floating to fixed without overflow	$\$X \leftarrow s'_{64}(r(f_{64}(\$Z)))$

## Spezialregister

GET	\$X, Z	Get value of special purpose register	$\$X \leftarrow r[Z]$
PUT	X, \$Z	Put value to special purpose register	$r[X] \leftarrow \$Z$
	X, Z	Put immed. value to spec. purp. reg.	$r[X] \leftarrow u'_{64}(u(Z))$

## Logische Operationen

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
AND	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise AND	$\$X \leftarrow \$Y \& \$Z$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise AND immediate	$\$X \leftarrow \$Y \& u'_{64}(u(Z))$
ANDN	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise AND NOT	$\$X \leftarrow \$Y \& \sim \$Z$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise AND NOT immediate	$\$X \leftarrow \$Y \& \sim u'_{64}(u(Z))$
ANDNL	\$X,YZ	Bitwise AND NOT low wyde	$\$X \leftarrow \$X \& \sim u'_{64}(u(YZ))$
ANDNML	\$X,YZ	Bw. AND NOT med. l. wd.	$\$X \leftarrow \$X \& \sim (u'_{64}(u(YZ)) \ll 16)$
ANDNMH	\$X,YZ	Bw. AND NOT med. h. wd.	$\$X \leftarrow \$X \& \sim (u'_{64}(u(YZ)) \ll 32)$
ANDNH	\$X,YZ	Bw. AND NOT high wyde	$\$X \leftarrow \$X \& \sim (u'_{64}(u(YZ)) \ll 48)$
NAND	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise NOT AND	$\$X \leftarrow \sim (\$Y \& \$Z)$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise NOT AND immediate	$\$X \leftarrow \sim (\$Y \& u'_{64}(u(Z)))$
OR	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise OR	$\$X \leftarrow \$Y \mid \$Z$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise OR immediate	$\$X \leftarrow \$Y \mid u'_{64}(u(Z))$
ORL	\$X,YZ	Bitwise OR low wyde	$\$X \leftarrow \$X \mid u'_{64}(u(YZ))$
ORML	\$X,YZ	Bitwise OR med. low wyde	$\$X \leftarrow \$X \mid (u'_{64}(u(YZ)) \ll 16)$
ORMH	\$X,YZ	Bitwise OR med. high wyde	$\$X \leftarrow \$X \mid (u'_{64}(u(YZ)) \ll 32)$
ORH	\$X,YZ	Bitwise OR high wyde	$\$X \leftarrow \$X \mid (u'_{64}(u(YZ)) \ll 48)$
ORN	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise OR NOT	$\$X \leftarrow \$Y \mid \sim \$Z$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise OR NOT immediate	$\$X \leftarrow \$Y \mid \sim u'_{64}(u(Z))$
NOR	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise NOT OR	$\$X \leftarrow \sim (\$Y \mid \$Z)$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise NOT OR immediate	$\$X \leftarrow \sim (\$Y \mid u'_{64}(u(Z)))$
XOR	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise XOR	$\$X \leftarrow \$Y \otimes \$Z$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise XOR immediate	$\$X \leftarrow \$Y \otimes u'_{64}(u(Z))$
NXOR	\$X,\$Y,\$Z	Bitwise NOT XOR	$\$X \leftarrow \sim (\$Y \otimes \$Z)$
	\$X,\$Y,Z	Bitwise NOT XOR immediate	$\$X \leftarrow \sim (\$Y \otimes u'_{64}(u(Z)))$

## Funktionsaufruf

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
GO	\$X,\$Y,\$Z	Go to location	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4);$ $\mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\$Y) + u(\$Z))$
	\$X,\$Y,Z	Go to location immediate	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4);$ $\mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\$Y) + u(Z))$

## Verzweigungen

Befehl	Operanden	Name/Aktion	Definition
JMP	XYZ	Jump	$\mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(XYZ))$
BZ	\$X,YZ	Branch if zero	$s(\$X) = 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBZ	\$X,YZ	Probable br. if zero	$s(\$X) = 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BNZ	\$X,YZ	Branch if nonzero	$s(\$X) \neq 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBNZ	\$X,YZ	Prob. br. if nonzero	$s(\$X) \neq 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BN	\$X,YZ	Branch if negative	$s(\$X) < 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBN	\$X,YZ	Prob. br. if negative	$s(\$X) < 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BNN	\$X,YZ	Branch if nonneg.	$s(\$X) \geq 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBNN	\$X,YZ	Prob. br. if nonneg.	$s(\$X) \geq 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BP	\$X,YZ	Branch if positive	$s(\$X) > 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBP	\$X,YZ	Prob. br. if positive	$s(\$X) > 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BNP	\$X,YZ	Branch if nonpositive	$s(\$X) \leq 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBNP	\$X,YZ	Prob. br. if nonpos.	$s(\$X) \leq 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BEV	\$X,YZ	Branch if even	$s(\$X) \% 2 = 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBEV	\$X,YZ	Prob. branch if even	$s(\$X) \% 2 = 0 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
BOD	\$X,YZ	Branch if odd	$s(\$X) \% 2 = 1 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$
PBOD	\$X,YZ	Prob. branch if odd	$s(\$X) \% 2 = 1 \Rightarrow \mathbb{C} \leftarrow u'_{64}(u(\mathbb{C}) + 4 \cdot s(YZ))$

## Direktoperanden

SETL	\$X,YZ	Set to low wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(YZ))$
SETML	\$X,YZ	Set to med. low wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(YZ \ll 16))$
SETMH	\$X,YZ	Set to med. high wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(YZ \ll 32))$
SETH	\$X,YZ	Set to high wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u((YZ \ll 48)))$
INCL	\$X,YZ	Increase by low wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$X) + u(YZ))$
INCML	\$X,YZ	Increase by med. low wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$X) + u(YZ \ll 16))$
INCMH	\$X,YZ	Increase by med. high wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$X) + u(YZ \ll 32))$
INCH	\$X,YZ	Increase by high wyde	$\$X \leftarrow u'_{64}(u(\$X) + u(YZ \ll 48))$

## 2 Mikrocontroller-Programmierung

### Assembler und Loader-Befehle:

IS - Register umbenennen

GREG - Globales Register anlegen

LOC - Einfügemarken setzen

BYTE - 8 Bit im Speicher anlegen

WYDE - 16 Bit im Speicher anlegen

TETRA - 32 Bit im Speicher anlegen

OCTA - 64 Bit im Speicher anlegen

@ - the place where we are at;

Bei Befehlen: aktueller Wert des Befehlszählers

Bei Loader-Befehlen: aktuelle Position der Einfügemarken

### 2.1 Ein- und Ausgabe über Ports

- **DDRn** ist das sog. *Data Direction Register* für Port  $n$ . Die einzelnen Bits dieses Registers legen für den entsprechenden Pin  $i$  des Ports  $n$  fest, ob dieser als Eingang (Bit  $i$  in DDRn ist gelöscht, d.h. 0) oder als Ausgang (Bit  $i$  in DDRn ist gesetzt, d.h. 1) dienen soll.

Bit-Nr. i:	7	6	5	4	3	2	1	0
DDRn7	0	0	0	0	0	0	0	0
Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

- Ein gesetztes Bit  $i$  in Register DDRn konfiguriert Pin  $i$  des Ports  $n$  als Ausgang. Am entsprechenden Prozessor-Pin liegt dann der mit Bit  $i$  in Register PORTn ( $n \in \{A, B, C, D\}$ ) spezifizierte Pegel (0 oder 1) an.
- Ein gelöschtes Bit in DDRn konfiguriert den entsprechenden Pin als Eingang.
  - Ist das entsprechende Bit im PORTn-Register gelöscht, so ist der Eingang hochohmig (tristate).
  - Ist das entsprechende Bit im PORTn-Register gesetzt, so wird der Pin über einen Widerstand (5 - 50 k) auf High-Pegel gezogen.
- **PORTn** ist das sog. *Port Register* für Port  $n$ .

Bit-Nr. (i):	7	6	5	4	3	2	1	0
PORTr7	0	0	0	0	0	0	0	0
Wert nach Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0

- Im Fall  $DDRni = 1$  (Bit  $i$  des Ports  $n$  ist als *Ausgang* konfiguriert) wird über  $PORTr_i$  der Ausgangspegel (1 = High = 5 V; 0 = Low = 0 V) des entsprechenden Ausgangs-Pin des Prozessors festgelegt.

- Im Fall DDRni = 0 (Bit i des Ports n ist als *Eingang* konfiguriert) wird über PORTni für Bit i des Ports n festgelegt, ob der Pull-Up-Widerstand aktiviert wird (PORTni = 1) oder nicht (PORTni = 0).
    - Die **Aktivierung des Pull-Up-Widerstands** sorgt dafür, dass der entsprechende Pin über einen hohen Widerstand auf Vcc gezogen wird.
    - Ist der **Pull-Up-Widerstand nicht aktiviert**, liegt der Pin auf unbestimmtem Potential und muss durch externe Beschaltung (z.B. externer Pull-Up/Down-Widerstand) in einen sinnvollen Zustand gebracht werden.

## 2.2 Interrupts allgemein

- **SREG** ist das Status-Register des Mikrocontrollers, über das Eigenschaften des Ergebnisses arithmetischer Operationen angezeigt wird: C = Carry, Z = Zero, N = Negative, V = Overflow, S = Sign, H = Half-Carry (BCD (Binary Coded Decimal)-Arithmetik). Das T-Bit wird als Operand für Bit-Operationen verwendet. Über das I-Bit können Interrupts global freigeschaltet werden.

## 1.3 Externe Interrupts

- **EIMSK** ist das sog. *External Interrupt Mask Register*, über das die externen Interrupts freigeschaltet werden können. Ein gesetztes Bit an Position i schaltet den externen Interrupt Nr. i frei. Es können auch mehrere externe Interrupts gleichzeitig freigeschaltet werden.

- EICRA ist das sog. *External Interrupt Control Register A*. Es legt für jeden externen Interrupt  $n \in \{0, 1, 2\}$  über die zwei Bits ISCn1 bzw. ISCn0 fest, ob
    - der Logikpegel 0 (Low) den Interrupt auslöst (00),
    - eine Pegel-Änderung den Interrupt auslöst (01),
    - ein fallender Pegel den Interrupt auslöst (10), oder
    - ein steigender Pegel den Interrupt auslöst (11)

- **EIFR** ist das sog. *External Interrupt Flag Register*. Es zeigt für den externen Interrupts  $\text{INT}_n$  über das Bit  $\text{INTF}_n$  an, ob das entsprechende Interrupt-Ereignis (z.B. steigende/fallende Flanke) des entsprechenden externen Interrupts vorliegt (High-Pegel) oder nicht (Low-Pegel). Die ver-UND-ung dieser Bits mit dem I-Bit aus Register SREG und den entsprechenden Bits  $\text{INT}_n$ ,  $n \in \{2, 1, 0\}$  im EIMSK-Register führt zu einem Sprung an die entsprechende Position der Interrupt-Vektor-Tabelle.

## 1.4 Timer-Interrupts

- **TIMSK<sub>n</sub>** mit  $n \in \{0, 1, 2, 3\}$  ist das Timer/Counter Interrupt Mask Register für Timer n. Hier kann über Bit 0 der Interrupt für den Timer-Überlauf freigeschaltet werden.

- ICIE: Nur bei Timer 1 und 3 verfügbar; wird bei uns nicht verwendet
- OCIEB: Bei uns nicht verwendet
- OCIEA: Bei uns nicht verwendet
- TOIE: Schaltet den Timer-Überlauf-Interrupt für Timer n frei.

Bit-Nr. (j):	7	6	5	4	3	2	1	0
Wert nach Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	-	ICIE	-	-	OCIEB	OCIEA	TOIE

- **TCCR<sub>nB</sub>** mit  $n \in \{0, 1, 2, 3\}$  ist das Timer Counter Control Register B für Timer n. Die einzelnen Bits der TCCR<sub>nB</sub>-Register haben bei den beiden 8 Bit Timern teilweise andere Funktionen als bei den beiden 16 Bit Timern:

TCCR<sub>nB</sub> bei 8 Bit Timern ( $n \in \{0, 2\}$ ):

Bit-Nr. (j):	7	6	5	4	3	2	1	0
Wert nach Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	FOC0A	FOC0B	-	-	WG <sub>Mn2</sub>	CS <sub>n2</sub>	CS <sub>n1</sub>	CS <sub>n0</sub>

TCCR<sub>nB</sub> bei 16 Bit Timern ( $n \in \{1, 3\}$ ):

Bit-Nr. (j):	7	6	5	4	3	2	1	0
Wert nach Reset:	0	0	0	0	0	0	0	0
	ICNC <sub>n</sub>	ICES <sub>n</sub>	-	WG <sub>Mn3</sub>	WG <sub>Mn2</sub>	CS <sub>n2</sub>	CS <sub>n1</sub>	CS <sub>n0</sub>

In beiden Fällen kann jedoch die Taktquelle (inkl. Prescaler) über die Bits 2, 1 und 0 eingestellt werden. Für die angegebenen Werte von [CS<sub>n2</sub>, CS<sub>n1</sub>, CS<sub>n0</sub>] ergeben sich folgende Einstellungen:

CS <sub>n2/1/0</sub>	TCCR0B	TCCR1/3B	TCCR2B
000	Timer gestoppt	Timer gestoppt	Timer gestoppt
001	clk	clk	clk
010	clk/8	clk/8	clk/8
011	clk/64	clk/64	clk/32
100	clk/256	clk/256	clk/64
101	clk/1024	clk/1024	clk/128
110	Fallende Flanke an ext. Pin T0	Fallende Flanke an ext. Pin T0	clk/256
111	Steigende Flanke an ext. Pin T0	Steigende Flanke an ext. Pin T0	clk/1024

- **TCNT<sub>n</sub>** mit  $n \in \{0, 1, 2, 3\}$  ist das Timer Counter Register für Timer n. Register TCNT<sub>n</sub> enthält den Zähl-Wert des Timers n, der beim Auftreten des ausgewählten Takt-Ereignisses verändert/erhöht wird. 16 Bit breite Register ( $n \in \{1, 3\}$ ) setzen sich aus zwei 8 Bit breiten Registern TCNT<sub>nH</sub> und TCNT<sub>nL</sub> zusammen.