LINZER TECHNIKUM
HTL Paul-Hahn-Straße

Microcontroller Teil 7 Analog Digital Converter

DI (FH) Andreas Pötscher

HTL Litec

Analog Digital Converter

- Digitale Signale können nur 2 Zustände annehmen.

Analog Digital Converter

- Digitale Signale können nur 2 Zustände annehmen.
- Taster gedrückt oder nicht gedrückt. Led eingeschaltet oder ausgeschaltet.

Analog Digital Converter

- Digitale Signale können nur 2 Zustände annehmen.
- Taster gedrückt oder nicht gedrückt. Led eingeschaltet oder ausgeschaltet.
- Analoge Signale können, im Gegensatz dazu, theoretisch unendliche viele Werte annehmen.

Analog Digital Converter

- Digitale Signale können nur 2 Zustände annehmen.
- Taster gedrückt oder nicht gedrückt. Led eingeschaltet oder ausgeschaltet.
- Analoge Signale können, im Gegensatz dazu, theoretisch unendliche viele Werte annehmen.
- Ein Potentiometer kann auf beliebig viele Stellungen gedreht werden.

Analog Digital Converter

- Digitale Signale können nur 2 Zustände annehmen.
- Taster gedrückt oder nicht gedrückt. Led eingeschaltet oder ausgeschaltet.
- Analoge Signale können, im Gegensatz dazu, theoretisch unendliche viele Werte annehmen.
- Ein Potentiometer kann auf beliebig viele Stellungen gedreht werden.
- Ein Temperatursensor kann eine beliebig genaue Spannung liefern.

Analoge Eingänge

- Microcontroller verfügen meistens über einen oder mehrere analoge Eingangspins.

Analoge Eingänge

- Microcontroller verfügen meistens über einen oder mehrere analoge Eingangspins.
- Damit kann eine Spannung von einer externen Schaltung erfasst werden.

Analoge Eingänge

- Microcontroller verfügen meistens über einen oder mehrere analoge Eingangspins.
- Damit kann eine Spannung von einer externen Schaltung erfasst werden.
- im Microcontroller befindet sich eine Analog-Digital-Wandler, der die Spannung in einen digitalen Wert umwandelt.

Analoge Eingänge

- Microcontroller verfügen meistens über einen oder mehrere analoge Eingangspins.
- Damit kann eine Spannung von einer externen Schaltung erfasst werden.
- im Microcontroller befindet sich eine Analog-Digital-Wandler, der die Spannung in einen digitalen Wert umwandelt.
- Dieser digitale Wert kann anschließend in der Software verarbeitet werden.

Analoge Ausgänge

- Microcontroller haben manchmal direkt einen Digital-Analog Wandler eingebaut.

Analoge Ausgänge

- Microcontroller haben manchmal direkt einen Digital-Analog Wandler eingebaut.
- Meistens kann diese Funktion aber von einer Pulsweitenmodulation (PWM) ersetzt werden.

Signalpegel

- **0 bis 5 Volt (0-5V):**
- **0 bis 3,3 Volt (0-3,3V):**
- **0 bis 10 Volt (0-10V):**
- **4 bis 20 Milliampere (4-20mA):**

Analog Digital Wandler

Ein Analog-Digital-Umsetzer (ADC) ist eine elektronische Schaltung oder ein Bauteil in einem Mikrocontroller, der analoge Eingangssignale in digitale Werte umwandelt. Dieser Prozess ist entscheidend, um analoge Werte zu erfassen und in eine digitale Form zu bringen, die vom Programm im Microcontroller verarbeitet werden kann.

Abtastung

- In den meisten Fällen wird das analoge Signal mit einer bestimmten Frequenz abgetastet.

Abtastung

- In den meisten Fällen wird das analoge Signal mit einer bestimmten Frequenz abgetastet.
- Die Abtastfrequenz ist entscheidend welche Signalfrequenzen aufgezeichnet werden können (Shannon Theorem).

Abtastung

- In den meisten Fällen wird das analoge Signal mit einer bestimmten Frequenz abgetastet.
- Die Abtastfrequenz ist entscheidend welche Signalfrequenzen aufgezeichnet werden können (Shannon Theorem).
- Der ADC kann von der Software im Programm ausgelöst werden.

Abtastung

- In den meisten Fällen wird das analoge Signal mit einer bestimmten Frequenz abgetastet.
- Die Abtastfrequenz ist entscheidend welche Signalfrequenzen aufgezeichnet werden können (Shannon Theorem).
- Der ADC kann von der Software im Programm ausgelöst werden.
- Alternativ dazu kann der ADC auch direkt von der Hardware (z.B. Timer) ausgelöst werden.

Quantisierung

- Nachdem das analoge Signal abgetastet wurde, wird der gemessene analoge Wert in eine begrenzte Anzahl von digitalen Werten umgewandelt.

Quantisierung

- Nachdem das analoge Signal abgetastet wurde, wird der gemessene analoge Wert in eine begrenzte Anzahl von digitalen Werten umgewandelt.
- Dieser Schritt wird Quantisierung genannt.

Quantisierung

- Nachdem das analoge Signal abgetastet wurde, wird der gemessene analoge Wert in eine begrenzte Anzahl von digitalen Werten umgewandelt.
- Dieser Schritt wird Quantisierung genannt.
- Die Genauigkeit der Quantisierung wird durch die Bit-Anzahl (Auflösung) des ADC bestimmt.

Quantisierung

- Nachdem das analoge Signal abgetastet wurde, wird der gemessene analoge Wert in eine begrenzte Anzahl von digitalen Werten umgewandelt.
- Dieser Schritt wird Quantisierung genannt.
- Die Genauigkeit der Quantisierung wird durch die Bit-Anzahl (Auflösung) des ADC bestimmt.
- Ein ADC mit einer höheren Bit-Anzahl kann das analoge Signal präziser quantisieren.

Referenzspannung

Um das analoge Signal zu quantisieren, vergleicht der ADC den gemessenen analogen Wert mit einer Referenzspannung, die im ADC eingestellt ist. Der ADC bestimmt dann, in welchem Bereich dieser Referenzspannung der gemessene Wert liegt. Die Referenzspannung gibt somit den maximal messbaren Wert vor.

Beispiel

Ein ADC mit 10 Bit Auflösung kann $2^{10} - 1$ (also 1023) verschiedene digitale Werte darstellen. Der Spannungsbereich, den der ADC quantisiert, reicht von 0 Volt bis 5 Volt.

Um die Schritte der Quantisierung zu berechnen, wird der gesamte Spannungsbereich (5 Volt) durch die Anzahl der verfügbaren digitalen Werte (1023) geteilt. Das ergibt:

$$Schrittweite = \frac{5V}{1023} = 0,00489V$$

Beispiel

Wird der Digitalwert als Funktion der Spannung dargestellt entspricht die Schrittweite der Steigung.

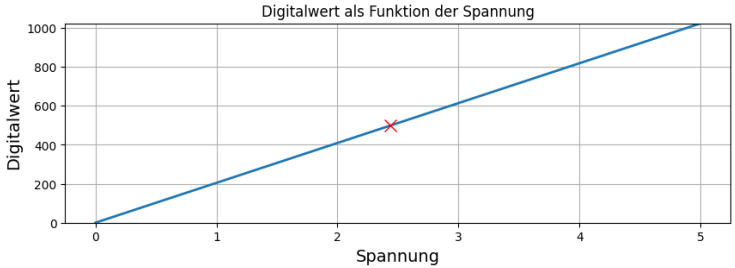

Figure 1: Digitalwert als Funktion der Spannung. Der Wert 500 entspricht einer Spannung von 2.445V

Beispiel

Um einen digitalen Wert in eine Spannung zurückzurechnen, verwenden Sie die Schrittweite des ADC (Analog-Digital-Umsetzers), die wir zuvor berechnet haben, zusammen mit dem digitalen Wert selbst. Dazu muss einfach die Formel umgestellt werden.

$$Spannung = DigitalerWert * Schrittweite$$

In diesem Beispiel:

$$Spannung = 500 * 0.00488V = 2,445V$$

ADC beim Atmega 2560

- Der Atmega 2560 hat 16 verschiedenen Analogeingänge

ADC beim Atmega 2560

- Der Atmega 2560 hat 16 verschiedenen Analogeingänge
- Diese befinden sich auf auf GPIOs PF0 bis PF7 und PK0 bis PK7.

ADC beim Atmega 2560

- Der Atmega 2560 hat 16 verschiedenen Analogeingänge
- Diese befinden sich auf auf GPIOs PF0 bis PF7 und PK0 bis PK7.
- In Hintergrund befindet sich aber nur ein AD-Wandler

ADC beim Atmega 2560

- Der Atmega 2560 hat 16 verschiedenen Analogeingänge
- Diese befinden sich auf auf GPIOs PF0 bis PF7 und PK0 bis PK7.
- In Hintergrund befindet sich aber nur ein AD-Wandler
- Wenn mehrere Analog Eingänge verwendet werden müssen diese nacheinander eingelesen werden.

ADC Channel auswählen

Das ADMUX-Register hat mehrere Bits, die verwendet werden, um den ADC-Kanal auszuwählen. Diese Bits sind als MUX0, MUX1, MUX2, MUX3, MUX4 und MUX5 bezeichnet.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
ADMUX:	—	—	—	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0

ADC Channel auswählen

Mit folgenden Einstellungen kann ein Analogeingang 0 - 7 ausgewählt werden.

MUX2	MUX1	MUX0	CH	PIN
0	0	0	ADC0	PF0
0	0	1	ADC1	PF1
0	1	0	ADC2	PF2
0	1	1	ADC3	PF3
1	0	0	ADC4	PF4
1	0	1	ADC5	PF5
1	1	0	ADC6	PF6
1	1	1	ADC7	PF7

Referenzspannung festlegen

Das ADMUX-Register enthält auch Bits, um die Referenzspannung für den ADC festzulegen. Die Referenzspannung ist wichtig, da sie die Skala bestimmt, in der die analoge Spannung gemessen wird.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
ADMUX:	REFS1	REFS0	—	—-	—-	—-	—-	—-

Referenzspannung festlegen

Die Bits für die Auswahl der Referenzspannung heißen REFS0 und REFS1.

REFS1	REFS0	CH
0	0	AREF Pin
0	1	AVCC (5V)
1	0	1,1V
1	1	2,56V

Prescaler

- Der ADC Converter des Atmega 2560 benötigt mehrere CPU Takte um die gemessene Spannung in einen Digitalwert umzuwandeln.

Prescaler

- Der ADC Converter des Atmega 2560 benötigt mehrere CPU Takte um die gemessene Spannung in einen Digitalwert umzuwandeln.
- Der Takt für die Wandlung wird, wie beim Timer, durch einen Prescaler geteilt.

Prescaler

- Der ADC Converter des Atmega 2560 benötigt mehrere CPU Takte um die gemessene Spannung in einen Digitalwert umzuwandeln.
- Der Takt für die Wandlung wird, wie beim Timer, durch einen Prescaler geteilt.
- Je größer der Prescaler desto langsamer und genauer ist die Wandlung.

Prescaler

- Der ADC Converter des Atmega 2560 benötigt mehrere CPU Takte um die gemessene Spannung in einen Digitalwert umzuwandeln.
- Der Takt für die Wandlung wird, wie beim Timer, durch einen Prescaler geteilt.
- Je größer der Prescaler desto langsamer und genauer ist die Wandlung.
- Für die vollen 10 Bit Auflösung muss ein Prescaler von 128 (Wandlungsfrequenz 125kHz) eingestellt werden.

Prescaler

- Der ADC Converter des Atmega 2560 benötigt mehrere CPU Takte um die gemessene Spannung in einen Digitalwert umzuwandeln.
- Der Takt für die Wandlung wird, wie beim Timer, durch einen Prescaler geteilt.
- Je größer der Prescaler desto langsamer und genauer ist die Wandlung.
- Für die vollen 10 Bit Auflösung muss ein Prescaler von 128 (Wandlungsfrequenz 125kHz) eingestellt werden.
- Eine Wandlung dauert ca. 13 Takte. Damit sich eine Abtastrate von ca 9kHz erreichen.

Prescaler

LINZER TECHNIKUM
HTL Paul-Hahn-Straße

Eingestellt wird der Prescaler über das ADCSRA Register.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
ADCSRA:	—-	—-	——	—-	—-	ADPS2	ADPS1	ADPS0

Für einen Prescaler von 128 müssen alle drei ADPS bits auf 1 gesetzt werden.

```
ADCSRA |= (1 << ADPS0) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS2);
```

ADC Starten

Als ersten Schritt muss der ADC aktiviert werden. Dies geschieht mit dem Bit ADEN im Register ADCSRA.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
ADCSRA:	ADEN	ADSC	ADATE	—-	—-	——	——	——

Um eine einzelne Wandlung zu starten muss das Bit ADSC im Register ADCSRA gesetzt werden. Dieses Bit bleibt so lange High so lange die Wandlung dauert und wird dann automatisch auf 0.

ADC Starten

- Alternativ dazu kann die Wandlung automatisch gestartet werden. Dazu muss das Autotrigger Bit ADATE im Register ADCSRA gesetzt werden.

ADC Starten

- Alternativ dazu kann die Wandlung automatisch gestartet werden. Dazu muss das Autotrigger Bit ADATE im Register ADCSRA gesetzt werden.
- Standardmäßig ist dabei als Modus Free-Running Mode eingestellt. In diesem Modus muss mit dem Bit ADSC die erste Wandlung gestartet werden. Die weiteren Wandlungen erfolgen dann automatisch.

Auslesen der gewandelten Spannung

- Die Register ADCH (Analog-Digital Converter High Byte) und ADCL (Analog-Digital Converter Low Byte) werden verwendet, um das Ergebnis einer Analog-Digital-Wandlung (ADC) zu speichern.

Auslesen der gewandelten Spannung

LINZER TECHNIKUM
HTL Paul-Hahn-Straße

- Die Register ADCH (Analog-Digital Converter High Byte) und ADCL (Analog-Digital Converter Low Byte) werden verwendet, um das Ergebnis einer Analog-Digital-Wandlung (ADC) zu speichern.
- Diese Register speichern das Ergebnis der Wandlung als 10-Bit-Wert (0 bis 1023).

Auslesen der gewandelten Spannung

LINZER TECHNIKUM
HTL Paul-Hahn-Straße

- Die Register ADCH (Analog-Digital Converter High Byte) und ADCL (Analog-Digital Converter Low Byte) werden verwendet, um das Ergebnis einer Analog-Digital-Wandlung (ADC) zu speichern.
- Diese Register speichern das Ergebnis der Wandlung als 10-Bit-Wert (0 bis 1023).
- Das Ergebnis kann dabei entsprechend zusammengezählt werden.

Auslesen der gewandelten Spannung

- Die Register ADCH (Analog-Digital Converter High Byte) und ADCL (Analog-Digital Converter Low Byte) werden verwendet, um das Ergebnis einer Analog-Digital-Wandlung (ADC) zu speichern.
- Diese Register speichern das Ergebnis der Wandlung als 10-Bit-Wert (0 bis 1023).
- Das Ergebnis kann dabei entsprechend zusammengezählt werden.
- `uint16_t result = ADCL + ADCH * 256;`

Beispiel

Beispiel auslesen eines Potentiometers mit dem ADC und Anzeige über die USART Schnittstelle.

WokWi Link