

STM32F4xx-Mikrocontroller

Will man Software für einen Mikrocontroller entwickeln, ist es hilfreich, wenn grundlegende Kenntnisse zur Hardware vorhanden sind. Die erforderlichen Kenntnisse müssen nicht so tief gehend sein, wie dies für Hardwareentwickler erforderlich ist, man sollte aber in der Lage sein, sich mit ihnen auf einer gemeinsamen Basis verständigen zu können.

Daher beginne ich dieses Buch mit einem kurzen Überblick über die Mitglieder der STM32F4xx-Familie.

1.1 Überblick über die STM32F4xx-Familie

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, besteht die STM32F4xx-Familie aus einer Vielzahl von Mikrocontrollern, die, abhängig von ihrer Ausstattung und ihrer Leistungsfähigkeit, in verschiedene *Produktlinien* eingeordnet sind:

- Die *Advanced Line* umfasst die Ausführungen STM32F469, STM32F429 und STM32F427. Diese bieten die größte Funktionsvielfalt und enthalten unter anderem Ethernet-Interfaces. Bis auf den STM32F427 enthalten die Mitglieder der Advanced Line auch einen TFT-/LCD-Controller. Die genannten Mikrocontroller können mit einer Taktfrequenz von bis zu 180 MHz eingesetzt werden. Je nach Modell verfügen sie über einen Flashspeicher von bis zu 2 MByte und bis zu 384 KByte SRAM.
- Die sogenannte *Foundation Line* umfasst die Typen STM32F446, STM32F407 und STM32F405. Die maximale Taktfrequenz des STM32F405 beträgt 168 MHz, die beiden anderen können – wie die Mitglieder der Advanced Line – mit einer Frequenz von bis zu 180 MHz getaktet werden.
- Die *Access Line* umfasst mit den Mikrocontrollern STM32F401, STM32F410, STM32F411, STM32F412 und STM32F413 die Familienmitglieder, die am wenigsten leistungsstark sind. Dies betrifft weniger die Größe von Flashspeicher (maximal 1.536 KByte) und SRAM (bis zu 320 KByte), sondern vielmehr die Zahl serieller Schnittstellen und anderer Peripheriekomponenten. Die Taktfrequenz ist mit maximal 100 MHz aber immer niedriger verglichen mit den Mitgliedern der Advanced Line bzw. der Foundation Line.

Abbildung 1.1 zeigt die derzeit verfügbaren Mikrocontroller dieser Familie (Stand: März 2022). Der in diesem Kapitel exemplarisch beschriebene Mikrocontroller STM32F446 ist durch einen Rahmen hervorgehoben.

Produktlinie	FCPU (MHz)	Flash (kBytes)	RAM (KB)	Ethernet- /F* IEEE 1588	2x CAN-/F*	Kamera-/F*	SDRAM-/F*	Dual-QUAD SPI	SAI	SPDIF Rx	CHROM-ART Graphic Acc.™	TFT-/LCD-Controller	MIPI DSI
Advanced Lines													
STM32F469	180	512k bis 2056k	384	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
STM32F429	180	512k bis 2056k	256	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
STM32F427	180	1024k bis 1024k	256	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
Access Lines													
STM32F446	180	256k bis 512k	128		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
STM32F407	168	128k bis 1024k	192	✓	✓	✓							
STM32F405	168	512k bis 1024k	192		✓								
Access Lines													
Produktlinie	FCPU (MHz)	Flash (kBytes)	RAM (KB)	Stromaufn. µA/MHz (Min.)	Stromaufn. (Stopp) (Min.)	Abm. (min.) in mm	FSMC (NOR/PSRAM) /	QSPI	DFSDM	DAC	TRNG	DMA Stapelverarbeitung	USB 2.0 OTG FS
STM32F401	84	128k bis 512k	bis zu 96	128µA	10µA	3x3							✓
STM32F410	100	64k bis 128k	32	89µA	6µA	2,553 x 2,579				✓	✓	BAM	-
STM32F411	100	256k bis 512k	128	100µA	12µA	3,034 x 3,22						BAM	✓
STM32F412	100	512k bis 1024k	256	112µA	18µA	3,653 x 3,651	✓	✓	✓		✓	BAM	✓
STM32F413	100	1024k bis 1536k	320	115µA	18µA	3,951 x 4,039	✓	✓	✓	✓	✓	BAM	✓

- ART Accelerator™
- SDIO
- USART, SPI, I²C
- I²S + Audio-PLL
- 16- und 32-Bit Timer
- 12-Bit ADC (0,41 µs)
- True Number Random Generator
- Batch Acquisition Mode
- Low Voltage (1,7 - 3,6V)
- Temperature: -40°C - 125°C

*I/F = Interface (Schmittstelle)

Abb. 1.1: Überblick über die STM32F4-Familie

Hinweis

Obwohl ich mich nachfolgend auf den STM32F446 konzentriere, lässt sich seine Beschreibung nicht nur auf die anderen Mitglieder der STM32F4-Familie übertragen, sondern auch – mit Ausnahme der Arm-spezifischen Bestandteile sowie der herstellereigenen Peripheriekomponenten – auf beliebige andere Mikrocontroller. Natürlich gibt es Unterschiede bei der Programmierung der integrierten Peripheriekomponenten, was sich nicht zuletzt in unterschiedlichen Benennungen und Adressen der Register wie auch in der Anschlussbelegung zeigt, das Funktionsprinzip ist aber überall sehr ähnlich. Die Portierung der Kenntnisse auf Mikrocontroller anderer Hersteller sollte recht einfach sein, da Sie hier ja die Programmierung von der Pike auf lernen.

1.2 Der STM32F446

Der STM32F446 ist in verschiedenen Ausführungsvarianten erhältlich. Im folgenden Abschnitt werden diese näher beschrieben.

1.2.1 Varianten des STM32F446

Tabelle 1.1 zeigt die Ausführungen und ihre Unterschiede:

Peripheriekomponenten		STM32F446							
		MC	ME	RC	RE	VC	VE	ZC	ZE
Flash in KByte		256	512	256	512	256	512	256	512
SRAM in KByte	System	128 (112 + 16)							
	Backup	4							
Controller für flexiblen Speicher (FMC)		Nein				Ja			
Timer	GP	10							
	Advanced	2							
	Basic	2							
Kommunikations-Interfaces	SPI/I ² S	4/3 (simplex)							
	I ² C	4/1 davon als FMP+ (Fast mode Plus)							
	UART/USART	2/4							
	USB OTG FS	Ja, 6 Endpunkte							
	USB OTG HS	Ja, 8 Endpunkte							
	CAN	2							
	SAI	2							
	SDIO	Ja							
	SPDIF-Rx	1							
	HDMI-CEC	1							
	Quad SPI	1							

Tabelle 1.1: Ausstattung des STM32F446

Peripheriekomponenten	STM32F446							
	MC	ME	RC	RE	VC	VE	ZC	ZE
Kamera-Interface	Ja							
GPIOs	63		50		81			114
12-Bit-ADC (Anzahl/Kanäle)	3/14		3/16		3/16			3/24
12-Bit-DAC	Ja, 2 Kanäle							
Maximale Taktfrequenz	180 MHz							
Betriebsspannung	1,8 bis 3,6 V							
Gehäuse und Pins	WLCSP81		LQFP64		LQFP100		LQFP144U	FBGA144

Tabelle 1.1: Ausstattung des STM32F446 (Forts.)

Wie Sie Tabelle 1.1 entnehmen können, sind allein vom STM32F446 acht Ausführungen erhältlich, die durch nachgestellte Buchstaben und Ziffern unterschieden werden. Abbildung 1.2 zeigt, wie die Bezeichnungen bei STM interpretiert werden.

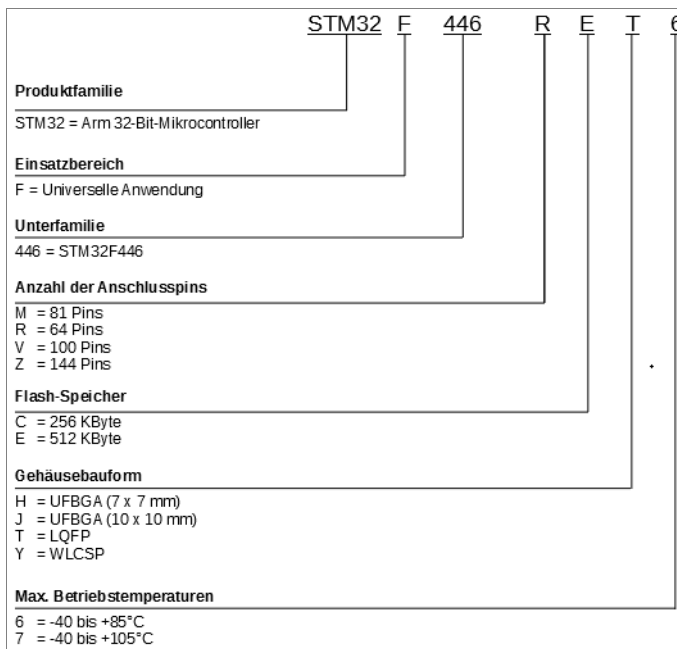


Abb. 1.2: Produktbezeichnungen der STM32F4xx-Mikrocontroller

Hinweis

Möchten Sie einen anderen Mikrocontroller aus der STM32F4xx-Familie verwenden, finden Sie die entsprechenden Tabellen auf der Webseite <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html> im Menü RESOURCES.

1.2.2 Speicherbelegung/Memory-Mapping

Der adressierbare Speicher ist in acht Blöcke mit einer Größe von jeweils 512 MByte unterteilt, es können somit maximal $2^{32} - 1$ Byte = 4.294.967.296 Byte adressiert werden. Dieser Wert stellt aber nur das theoretische Maximum dar, tatsächlich verfügt keiner der genannten Mikrocontroller über derart viel Speicher, sodass die höchste adressierbare Speicherstelle deutlich kleiner ist.

Abbildung 1.3 zeigt eine grobe Unterteilung dieser Blöcke und der hier verfügbaren Funktionen. Im rechten Teil von Abbildung 1.3 sehen Sie einige Abkürzungen, wie z.B. AHB1/2/3 und APB1/2: Was es damit auf sich hat, wird weiter unten in Abschnitt 1.2.4 erläutert.

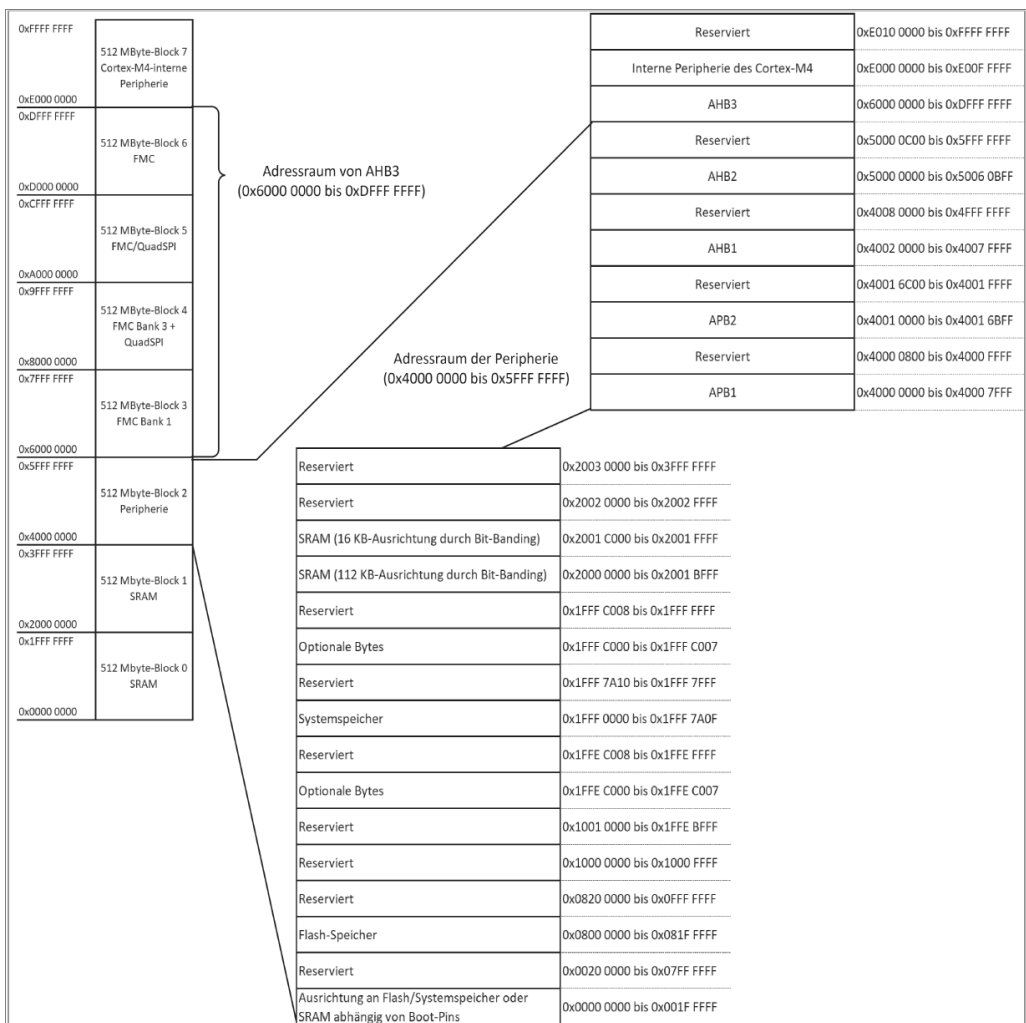


Abb. 1.3: Speicherbereiche (Memory-Mapping), aus dem Datenblatt entnommen

Die folgenden Tabellen zeigen die verfügbaren Peripheriekomponenten, den jeweils genutzten Bus, über den sie angesprochen werden, sowie die Adressen, die den Speicherbereichen und Registern zugeordnet sind.

Wichtig

Zwei Adressbereiche möchte ich vorab besonders hervorheben: Sie sind zwar in Abbildung 1.3 angegeben, fallen dort aber nicht besonders deutlich auf: Es handelt sich um den Flashspeicher (ab Adresse 0x0800 0000) und das SRAM (ab Adresse 0x2000 0000). Die Größe des Speichers variiert bei den verschiedenen Mikrocontrollern.

Hinweis

Die Adressbereiche in den folgenden Tabellen sind nach den jeweiligen Bussen (Cortex-M4, AHB und APB) sortiert. Dies führt dazu, dass die Blockgrenzen in Abbildung 1.2 quasi »ungültig« werden. Darüber hinaus sind große Adressbereiche im Speicherraum reserviert, sodass sie nicht genutzt werden können. Reservierte Speicherbereiche wurden in den folgenden Tabellen nicht aufgeführt.

Bus	Adressgrenzbereiche	Komponente(n)
Cortex-M4- interner Bus	0xE000 0000–0xE00F FFFF	Cortex-M4-interne Komponenten (z.B. CPU-Kern, NVIC, Floating-Point-Unit (FPU) usw.)

Tabelle 1.2: Adressbereich von Cortex-M4-internen Komponenten

Bus	Adressbereiche	Komponente(n)
AHB3	0xD000 0000–0xDFFF FFFF	FMC Bank 6
	0xC000 0000–0xCFFF FFFF	FMC Bank 5
	0xA000 1000–0xA000 1FFF	QuadSPI Control Register
	0xA000 0000–0xA000 0FFF	FMC Control Register
	0x9000 0000–0x9FFF FFFF	QuadSPI
	0x8000 0000–0x8FFF FFFF	FMC Bank 3
	0x6000 0000–0x6FFF FFFF	FMC Bank 1

Tabelle 1.3: Komponentenadressen, die über den AHB3-Bus angesprochen werden

Bus	Adressbereiche	Komponente(n)
AHB2	0x5005 0000–0x5005 03FF	DCMI (Digital Camera Interface)
	0x5000 0000–0x5003 FFFF	USB OTG FS (USB on-the-go, Full Speed)

Tabelle 1.4: Komponentenadressen, die über den AHB2-Bus angesprochen werden

Bus	Adressbereiche	Komponente(n)
AHB1	0x4004 0000–0x4007 FFFF	USB OTG HS (USB on-the-go, High Speed)
	0x4002 6400–0x4002 67FF	DMA2 (Direct Memory Access)
	0x4002 6000–0x4002 63FF	DMA1
	0x4002 4000–0x4002 4FFF	Backup-SRAM
	0x4002 3C00–0x4002 3FFF	Flashspeicher-Schnittstelle
	0x4002 3800–0x4002 3BFF	RCC (Reset and Clock Control)
	0x4002 3000–0x4002 33FF	CRC (Cyclic Redundancy Check)
	0x4002 1C00–0x4002 1FFF	GPIOH
	0x4002 1800–0x4002 1BFF	GPIOG
	0x4002 1400–0x4002 17FF	GPIOF
	0x4002 1000–0x4002 13FF	GPIOE
	0x4002 0C00–0x4002 0FFF	GPIOD
	0x4002 0800–0x4002 0BFF	GPIOC
	0x4002 0400–0x4002 07FF	GPIOB
	0x4002 0000–0x4002 03FF	GPIOA

Tabelle 1.5: Komponentenadressen, die über den AHB1-Bus angesprochen werden

Bus	Adressbereiche	Komponente(n)
APB2	0x4001 5C00–0x4001 5FFF	SAI1 (Serial Audio Interface)
	0x4001 5800–0x4001 5BFF	SAI2
	0x4001 4800–0x4001 4BFF	Timer TIM11
	0x4001 4400–0x4001 47FF	Timer TIM10
	0x4001 4000–0x4001 43FF	Timer TIM9
	0x4001 3C00–0x4001 3FFF	EXTI (External Interrupt Controller)
	0x4001 3800–0x4001 3BFF	SYSCFG (System Configuration)
	0x4001 3400–0x4001 37FF	SPI4 (Serial Peripheral Interface)
	0x4001 3000–0x4001 33FF	SPI1
	0x4001 2C00–0x4001 2FFF	SDIO (Secure Digital Input/Output Interface)
	0x4001 2000–0x4001 23FF	ADC1/2/3 (Analog-to-Digital Converter)
	0x4001 1400–0x4001 17FF	USART6 (Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver/Transmitter)
	0x4001 1000–0x4001 13FF	USART1
	0x4001 0400–0x4001 07FF	Timer TIM8
	0x4001 0000–0x4001 03FF	Timer TIM1

Tabelle 1.6: Komponentenadressen, die über den APB2-Bus angesprochen werden

Bus	Adressbereiche	Komponente(n)
	0x4001 5C00–0x4001 5FFF	SAI1 (Serial Audio Interface)
	0x4001 5800–0x4001 5BFF	SAI2
	0x4001 4800–0x4001 4BFF	Timer TIM11
	0x4000 7400–0x4000 77FF	DAC (Digital-to-Analog Converter)
	0x4001 4400–0x4001 47FF	Timer TIM10
	0x4001 4000–0x4001 43FF	Timer TIM9
	0x4001 3C00–0x4001 3FFF	EXTI (External Interrupt Controller)
	0x4001 3800–0x4001 3BFF	SYSCFG (System Configuration)
	0x4001 3400–0x4001 37FF	SPI4 (Serial Peripheral Interface)
	0x4001 3000–0x4001 33FF	SPI1
	0x4001 2C00–0x4001 2FFF	SDIO (Secure Digital Input/Output Interface)
	0x4001 2000–0x4001 23FF	ADC1/2/3 (Analog-to-Digital Converter)
	0x4001 1400–0x4001 17FF	USART6 (Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver/Transmitter)
	0x4001 1000–0x4001 13FF	USART1
	0x4001 0400–0x4001 07FF	Timer TIM8
	0x4001 0000–0x4001 03FF	Timer TIM1
APB1		
	0x4000 7000–0x4000 73FF	PWR (Power Control)
	0x4000 6C00–0x4000 6FFF	HDMI-CEC (High Definition Multimedia Interface, Consumer Electronics Control)
	0x4000 6800–0x4000 6BFF	CAN2 (Controller Area Network)
	0x4000 6400–0x4000 67FF	CAN1
	0x4000 6000–0x4000 63FF	FMPI2C1 (Fast Mode Plus Inter-integrated Circuit)
	0x4000 5C00–0x4000 5FFF	I2C3 (Inter-integrated Circuit)
	0x4000 5800–0x4000 5BFF	I2C2
	0x4000 5400–0x4000 57FF	I2C1
	0x4000 5000–0x4000 53FF	UART5 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
	0x4000 4C00–0x4000 4FFF	UART4
	0x4000 4800–0x4000 4BFF	USART3
	0x4000 4400–0x4000 47FF	USART2
	0x4000 4000–0x4000 43FF	SPDIFRX (Sony-Philips Digital Interface Receiver/Transmitter)

Tabelle 1.7: Komponentenadressen, die über den APB1-Bus angesprochen werden

Bus	Adressbereiche	Komponente(n)
	0x4000 3C00–0x4000 3FFF	SPI3/I2S3 (Serial Peripheral Interface/Integrated Sound Interface)
	0x4000 3800–0x4000 3BFF	SPI2/I2S2
	0x4000 3000–0x4000 33FF	IWDG (Independent Watchdog)
	0x4000 2C00–0x4000 2FFF	WWDG (Window Watchdog)
	0x4000 2800–0x4000 2BFF	RTC- & BKP-Register (Real Time Clock, Backup-Register)
	0x4000 2000–0x4000 23FF	Timer TIM14
	0x4000 1C00–0x4000 1FFF	Timer TIM13
	0x4000 1800–0x4000 1BFF	Timer TIM12
	0x4000 1400–0x4000 17FF	Timer TIM7
	0x4000 1000–0x4000 13FF	Timer TIM6
	0x4000 0C00–0x4000 0FFF	Timer TIM5
	0x4000 0800–0x4000 0BFF	Timer TIM4
	0x4000 0400–0x4000 07FF	Timer TIM3
	0x4000 0000–0x4000 03FF	Timer TIM2


Tabelle 1.7: Komponentenadressen, die über den APB1-Bus angesprochen werden (Forts.)

1.2.3 Interner Aufbau des STM32F446

An dieser Stelle würde ich Ihnen gern das Blockschaltbild des STM32F446 zeigen. Damit es auf eine Buchseite passt, müsste ich es jedoch dermaßen verkleinern, dass Sie die Details nicht mehr erkennen könnten. Unter dem Link <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f446mc.pdf> finden Sie auf Seite 16 das vollständige Blockschaltbild dieses Mikrocontrollers.

Hinweis

Die anderen Mitglieder der STM32F4xx-Familie haben einen ähnlichen Aufbau: Die wesentlichen Unterschiede bestehen in der Anzahl der integrierten Peripheriekomponenten, der Taktfrequenz sowie der Ausstattung mit Flashspeicher und SRAM. Wichtig ist hier, dass die Komponenten, die in allen bzw. in mehreren Mikrocontrollern enthalten sind, überall gleich benannt sind und ihre Programmierung im Wesentlichen identisch ist. Es kann vereinzelt sein, dass bestimmte Komponenten etwas leistungstärker sind als in den einfacheren Varianten. Dies äußert sich darin, dass manchmal Bits, die in Registern als reserviert markiert sind, in den besseren Varianten zusätzlich verwendet werden.

Diese Leseprobe haben Sie beim
 **edv buchversand.de** heruntergeladen.
Das Buch können Sie online in unserem
Shop bestellen.

[Hier zum Shop](#)