

Knochenharte Echtzeit:

BeagleBone Black im Stresstest



(Bild: Conrad Electronic)

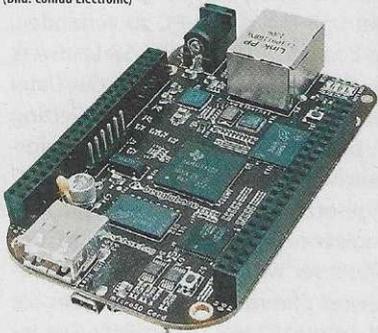


Bild 1. BeagleBone Black Rev. C mit GPIO-Buchsenleisten und Schnittstellen.

Das BeagleBone Black ist anders als andere Maker Boards. Seine gesamten Entwurfsdaten stehen unter einer Open-Source-Lizenz. Damit kann man das Design in modifizierter oder unmodifizierter Form für eigene Produkte verwenden. Eignet es sich für den industriellen Einsatz?

Von Dr. Claus Kühnel

Single-Board-Computer (SBC) mit Linux als Betriebssystem gibt es heute von zahlreichen Herstellern mit sehr unterschiedlichen Ausstattungen. Designs wie der Raspberry Pi mit ihrer großen Community haben für eine enorme Verbreitung derartiger Computer in der Maker-Szene, aber auch für das Rapid Prototyping in industriellen Projekten bis hin zu kompletten Produkten geführt. Ist der BeagleBone Black nun ein weiterer SBC dieser Gattung oder weist er Merkmale auf, die ihn dann doch von anderen SBCs unterscheiden?

Anders als die meisten SBCs ist die gesamte BeagleBone-Familie und da-

mit auch der hier betrachtete BeagleBone Black Open Source. Die BeagleBoard.org Foundation stellt alle Design-Dateien (Schaltplan, Stückliste, Hardware Layout etc.) unter dem Lizenzmodell „Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported“ auf Github zur Verfügung [1]. BeagleBone Black sollte deshalb nicht als fertiges Produkt mit einem definierten Produktlebenszyklus im industriellen Sinn betrachtet werden, sondern als Referenzdesign. Nur durch die Offenlegung der Designdateien besteht die Möglichkeit der Integration der BeagleBone-Infrastruktur in ein Industrieprodukt und den entsprechenden Life-

Cycle-Support über dessen Produktlebensdauer mit seinen Komponenten.

Diese Möglichkeit ist durch Raspberry Pi und vergleichbare Systeme nicht gegeben. Wer diese Plattformen verwendet, ist den Änderungen der Hersteller, die meist nicht im Voraus mitgeteilt werden, auf Gedeih und Verderb ausgeliefert.

Der hier betrachtete BeagleBone Black ist das derzeit aktuelle Board der BeagleBoard-Familie. Im Jahr 2008 begann die Entwicklung mit dem BeagleBoard, gefolgt vom BeagleBoard-xM. Mit dem BeagleBone wurde dann im Jahr 2011 erstmals der Preis von 100 US-Dollar für das Board unterschritten. Mit

Board	BeagleBoard.org BeagleBone Black	BeagleBoard.org BeagleBone (original)	SeedStudio BeagleBone Green	SanCloud BeagleBone Enhanced
Prozessor	AM3358 ARM Cortex-A8	AM3358 ARM Cortex-A8	AM3358 ARM Cortex-A8	AM3358 ARM Cortex-A8
max. Takt	1 GHz	720 MHz (1 GHz auf neuestem)	1 GHz	1 GHz
Analog-Pins	7	7	7	7
Digital-Pins	65 (3,3 V)	65 (3,3 V)	65 (3,3 V)	65 (3,3 V)
Speicher	512 MB DDR3, 2 GB (4 GB on Rev C) on-board eMMC, microSD Card Slot	256 MB DDR2, microSD Card Slot	512 MB DDR3, 4 GB on-board eMMC, microSD Card Slot	1 GB DDR3, 4 GB on-board eMMC, microSD Card Slot
USB	miniUSB 2.0 Client Port, USB 2.0 Host Port	miniUSB 2.0 Client Port, USB 2.0 Host Port	microUSB 2.0 Client Port, USB 2.0 Host Port	miniUSB 2.0 Client Port, 4 USB 2.0 Ports (2 A-type Connectors, 2 Pin Headers)
Video	microHDMI, Cape Add-ons	Cape Add-ons	Cape Add-ons	microHDMI, Cape Add-ons
Audio	microHDMI, Cape Add-ons	Cape Add-ons	Cape Add-ons	microHDMI, Cape Add-ons
Unterstützte Schnittstellen	4× UART, 8× PWM, LCD, GPMC, MMC1, 2× SPI, 2× I ² C, A/D Converter, 2× CAN Bus, 4 Timer			
Sensoren	n/a	n/a	n/a	Barometer, Beschleunigung, Gyro, Temperatur
MSRP	\$49	\$89	\$39	\$69

Tabelle 1. Originales BeagleBone, BeagleBone Black und davon abgeleitete Varianten

dem BeagleBone Black wurde eine erweiterte Variante des BeagleBone zum Preis zwischen 45 und 55 US-Dollar auf den Markt gebracht. Unter [2] sind die technischen Daten einschließlich Bildmaterial zu finden.

Die Varianten des BeagleBone Black

Den Kern des von der BeagleBoard.org Foundation entwickelten BeagleBone Black bildet ein mit bis zu 1 GHz getakteter Sitara-Prozessor AM3358 (Cortex-A8) von Texas Instruments. Bild 1 zeigt ein BeagleBone Black Rev. C mit seinen Schnittstellen (Ethernet, Power, USB und den GPIO-Buchsenleisten).

Es liegt in der Natur einer Open-Source-Geräts, dass es davon abgeleitete Varianten gibt. Tabelle 1 zeigt ausge-

hend vom BeagleBone daraus abgeleitete Varianten und deren zumindest teilweise unterschiedliche Ausstattung.

Der Schritt der BeagleBoard.org Foundation vom BeagleBone zum BeagleBone Black ist sicher einfach nachvollziehbar. Auf dem BeagleBone Green von Seedstudio gibt es anstelle des HDMI eine Schnittstelle zu deren umfangreichem Sortiment an Grove-Komponenten [3]. Gerade für das Rapid Prototyping ist das eine sehr sinnvolle Ergänzung. BeagleBone Enhanced ist das Ergebnis einer vom englischen Design-Haus SanCloud geführten Indiegogo-Kampagne [4], für die aktuell Muster in der Verifikation sind.

Die deutsche Firma New Technologies hat das BeagleBone-Design modularisiert und bietet dem industriellen Anwender das BeagleCore-Modul BCM1 sowie ein

zugehöriges Starter Kit an [5]. BeagleCore ist wie BeagleBone Open Source und die Designdaten sind offengelegt [6].

Bild 2 zeigt das Starter Kit BeagleCore BCS1 mit aufgesetztem Modul BeagleCore BCM1. Mit Conrad wurde für Deutschland ein Vertriebspartner gefunden, der aber auch Europa, EMEA und Afrika abdecken soll. Um dem industriellen Anspruch hinsichtlich eines erweiterten Temperaturbereichs von -40 bis +85 °C gerecht zu werden, liefert Farnell element14 den in Bild 3 gezeigten und in China gefertigten element14 BeagleBone Black Industrial 4G.

Weitere Hardware-Komponenten, die sich im Einsatz mit BeagleBone und BeagleBone Black bewährt haben, werden auf der Webpräsenz BeagleBoard.org Approved [6] vorgestellt.

Inbetriebnahme des BeagleBone Black

Das BeagleBone Black ist ein System, welches bereits nach kurzer Einarbeitung produktives Arbeiten zulässt. Die Inbetriebnahme gestaltet sich sehr einfach, da es ausreicht, den BeagleBone Black über USB mit einem PC zu verbinden. Das Board meldet sich als USB-Laufwerk an und ein Doppelklick auf die Datei start.htm öffnet die Webseite „Getting-Started“, die über die Installation erforderlicher Treiber für das auf dem PC eingesetzte Betriebssystem bis hin zum Beaglebone Black Webserver führt. Der Webserver wird über einen der Webbrowser Chrome oder Firefox über die URL <http://192.168.7.2/> erreicht. Der Internet Explorer versagt an dieser Stelle. Erhält man auf der sich öffnenden Webseite die in Bild 4 gezeigte Anzeige, dann ist man mit dem Webserver des BeagleBone Black verbunden.

Den Hinweisen zum Update mit der neuesten Betriebssystemversion folgen ein interaktiver BoneScript Guide und die Cloud9-Entwicklungsumgebung (IDE). BoneScript ist eine JavaScript-Bibliothek, die die Ausführung von Programmfunktionen auf der Hardware vereinfacht. Cloud9 verknüpft einen leistungsfähigen Online Editor mit einem Ubuntu Workspace in der Cloud und kann deshalb auch als IDE in der Cloud betrachtet werden [8]. Neben diesen Tools werden auf dem BeagleBone Black die üblichen Programmierumgebungen unterstützt. Zu nennen sind die Shell, GCC, Python, Perl, Ruby



Bild 2. Erst auf den zweiten Blick bemerkt man, dass das Starterkit BeagleCore BCS1 in der Mitte ein Modul mit der BeagleCore-Elektronik enthält. (Bild: Conrad Electronic)



Bild 3. BeagleBone Black Industrial 4G mit industriellem Temperaturbereich. (Bild: Farnell)

u.a.m. Außerdem lassen sich weitere installieren.

Verbindet man sich mit dem BeagleBone Black über SSH, dann hat man die komplette Debian-Umgebung über die Kommandozeile zur Verfügung.

„Hello World“-Programme sind für eine erste Inbetriebnahme einer Hardware und den Test der eingesetzten Toolchain hilfreich. Das Beispiel hw.sh in Listing 1 ist ein Shell Script, welches neben der Ausgabe zweier Textzeilen über die Console die LED USR3 zehnmal blinken lässt. Jede Blinkperiode wird außerdem durch Ausgabe eines „*“ verdeutlicht. Das Programm wird mit der Ausgabe von „Bye.“ beendet. Für die einzelnen On-Board-LEDs sind folgende Triggerwerte voreingestellt:

- usr0 – der Heartbeat,
- usr1 – ist auf mmc0 eingestellt, signalisiert den Zugriff auf die externe SD-Karte,
- usr2 – ist auf cpu0 eingestellt, signalisiert den Zugriff auf die CPU,
- usr3 – ist auf mmc1 eingestellt, signalisiert den Zugriff auf den internen Speicher.

Um die LED USR3 ausschließlich durch dieses Script zu steuern, wird der Trigger zu Beginn deaktiviert (echo none) und am Ende wieder restauriert (echo mmc1). Bild 5 zeigt Aufruf und Ausgabe des Shell Script hw.sh.

Sensor am BeagleBone Black

Ein sehr einfaches Programmbeispiel soll die Erfassung von Temperatur und

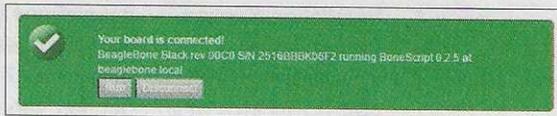


Bild 4. Nach Eingabe der IP-Adresse des BeagleBone Black in den Browser ist man mit dem Webserver des Geräts verbunden. (Bild: Kühnel)

relativer Luftfeuchte durch einen Sensor AM2302 verdeutlichen. Adafruit stellt auf Github (github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT) eine Python-Library zum Auslesen der Sensoren DHT11/DHT22/AM2302 bereit. Installation und Anwendung sind in [9] detailliert erläutert. Der Sensor AM2302 wird digital über eine proprietäre Schnittstelle ausgelesen. Die Anbindung an den BeagleBone Black zeigt Bild 6.

Ein Ausschnitt aus dem Programmbeispiel simpletest.py zeigt die Vorgehensweise bei der Abfrage des Sensors (Listing 2). Das komplette Programm steht nach Installation der Library im Verzeichnis /Adafruit_Python_DHT/examples zur Verfügung. Da das proprietäre Protokoll zur Abfrage des Sensors zeitkritisch ist, können Fehler bei der Abfrage entstehen. Deshalb wurde hier auch ein Retry-Mechanismus implementiert. Aufruf und Ausgabe des Python-Scripts simpletest.py zeigt Bild 7.

Leistungsindex UNIXBench

UnixBench ist die ursprüngliche BYTE UNIX Benchmark Suite, aktualisiert und von vielen Software-Entwicklern im Laufe der Jahre überarbeitet. Es werden verschiedene Tests verwendet, um die unterschiedlichen Aspekte der Leistung eines Systems zu testen. Der gesamte

```
#!/bin/sh
# Blink an USR LED on BeagleBone Black

COUNT=10
i=0

echo „Hello World from BeagleBone Black“
echo „LED USR3 will blink 10 times“

echo none > /sys/class/leds/beaglebone:green:usr3/trigger

while [ $i -le $COUNT ]; do
  echo -n „*“
  i=$((i+1))
  echo 1 > /sys/class/leds/beaglebone:green:usr3/brightness
  sleep 1
  echo 0 > /sys/class/leds/beaglebone:green:usr3/brightness
  sleep 1
done
echo mmc1 > /sys/class/leds/beaglebone:green:usr3/trigger
echo
echo „Bye.“
```

Listing 1. Das Shell-Script hw.sh lässt die LED USR3 zehnmal blinken.



Bei der Power von eMMC's geht Ihnen ein „Licht“ auf

Die XLamp® XP-G3 LED ist die effizienteste und zuverlässigste LED der XP-G Plattform



CREE

Die dritte Generation der XP-G LED verbindet die Vorteile der XT-E und XP-G2 im selben Formfaktor. Sie verwendet ebenfalls die bewährte SC5 Technologie Plattform.

Die ideale Ergänzung zur Leistungssteigerung Ihres Systems



Mit der steigenden Komplexität von Embedded-Systemen gewinnen intelligente Flash-Speicher in Form von µSD-/SD-Karten und eMMC an Bedeutung. Die steck- bzw. lötbaren Flash-Speicher bieten standardmäßig ein ausgefeiltes Speicher-Management und unterstützen eine einfache Systemintegration.

```

debian@beaglebone ~
root@beaglebone:~/home/debian/BeagleBone# ./hw.sh
Hello World from BeagleBone Black
LED USRS will blink 10 times
*****
Bye.
root@beaglebone:~/home/debian/BeagleBone#

```

Bild 5. Aufruf und Ausgabe des Shell Scripts hw.sh.

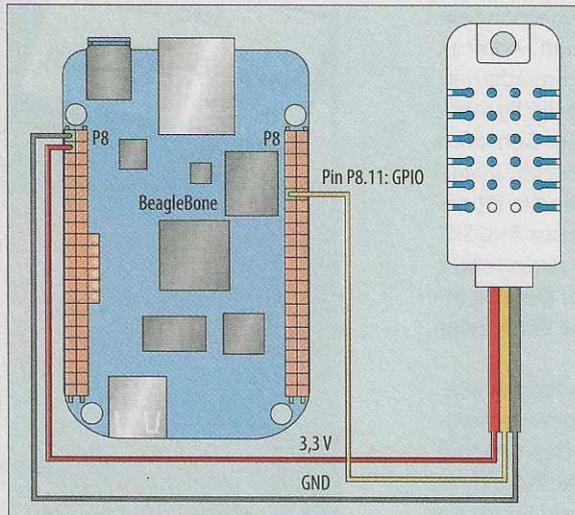


Bild 6. Der Temperatursensor AM2302 wird an Pin 11 der Steckerleiste P8 (GPIO45) angeschlossen.

Satz von Indexwerten wird dann zu einem Gesamtbild-Index für das System zusammengefasst.

UnixBench steht heute auf Github unter github.com/kdlucas/byte-unixbench zum Download zur Verfügung. Der Autor verwendet UNIXBench gerne, da schon für einige Linux-Boards selbst ermittelte Vergleichswerte vorliegen [10]. Bild 8 zeigt die Testresultate für einen mit 1 GHz betriebenen BeagleBone Black. Mit einem Index von ca. 150 erreicht der BeagleBone Black einen Wert, der von einem Single-Core Cortex-A8 erwartet werden kann.

Echtzeit auf dem BeagleBone

Für Anwendungen in der Automatisierungstechnik wird oft Echtzeitfähigkeit der steuernden Computer verlangt. Linux ist von Hause aus nicht echtzeitfähig. Für Linux-Boards gibt es aber dennoch verschiedene Möglichkeiten, Echtzeitfähigkeit sicherzustellen. Im White Paper „Linux und Echtzeit – Eine Übersicht prinzipieller Lösungsansätze“ zeigt die Fa. Linutronix unterschiedliche Möglichkeiten dazu [11]. Der PREEMPT_RT Patch des Mainline-Linux-Kernel ist der favorisierte und durch die Linux-Community getragene Ansatz. Details zum Projekt Realtime-Linux sind unter [12] nachzulesen. Ein Howto zu

Installation, Konfiguration, Test und Anwendung des PREEMPT_RT Patch des Mainline-Linux-Kernel ist in [13] zu finden.

Hier werden die für einen BeagleBone Black erreichbaren Effekte anhand von Daten veranschaulicht, die zu Zwecken der Qualitätssicherung in der QA-Farm von OSADL (Open Source Application Development Lab) erzeugt werden [14]. Sogenannte Latency Plots werden verwendet, um grafisch das Ergebnis einer Latenz-Bestimmung eines Echtzeit-Computersystems zu beschreiben. Latency

Plots sind Häufigkeitsverteilungen von Latenzen. Die höchste auftretende Latenz (Worst-Case Latency) repräsentiert die Echtzeitfähigkeit eines Computersystems. Die in Bild 9 gezeigten Kurven beruhen auf den OSADL-Messungen und können live unter www.osadl.org > Projects > QA Farm abgerufen werden. Am besten mit dem

BeagleBone Black vergleichbar ist der mit 1 GHz getaktete TI OMAP 3359, der sich in Rack 7/Slot 8 der QA-Farm befindet. Bei Verwendung eines Standard-Kernel beträgt nach 100 Millionen Messungen die längste gemessene Latenz 1725 ms. Findet der Realtime-Patch Anwendung, dann sinkt dieser Wert auf nur noch 0,4 ms.

Neben der verbesserten Echtzeitfähigkeit durch Einsatz des PREEMPT_RT Patch weist das Gesamtsystem einen wesentlich verbesserten Determinismus auf, was in vielen Fällen mindestens genauso wichtig ist.

Realtime Units auf dem BeagleBone Black

Der BeagleBone Black bietet mit den PRU-ICSS (Programmable Real-Time Unit and Industrial Communication Subsystem) eine weitere Möglichkeit, Echtzeitanforderungen zu erfüllen. Der AM335x enthält zusätzlich zwei 32-bit-RISC-Cores (PRU), getaktet mit 200 MHz, die dazu benutzt werden können, anwendungsspezifische Kommunikationsschnittstellen zu implementieren. Jeder PRU sind je 8 KB Programm- und 8 KB Datenspeicher zugeordnet.

Die beim Sensorbeispiel mit dem AM2302 angedeuteten Kommunikationsprobleme könnten auf diese Weise ausgeschlossen werden. PRU-ICSS wird Software-seitig derzeit nicht von Texas

```

#!/usr/bin/python
# Copyright (c) 2014 Adafruit Industries
# Author: Tony DiCola
...
import Adafruit_DHT

# Sensor should be set to Adafruit_DHT.DHT11,
# Adafruit_DHT.DHT22, or Adafruit_DHT.AM2302.
sensor = Adafruit_DHT.AM2302

# Beaglebone Black with DHT sensor connected to pin P8_11.
pin = 'P8_11'

...
# Try to grab a sensor reading. Use the read_retry method
# which will retry up to 15 times to get a sensor reading
# (waiting 2 seconds between each retry). humidity,
# temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)

# Note that sometimes you won't get a reading and
# the results will be null (because Linux can't
# guarantee the timing of calls to read the sensor).
# If this happens try again!
if humidity is not None and temperature is not None:
    print('Temperature = {0:0.1f}*C Humidity =
          {1:0.1f}%'.format(temperature, humidity))
else:
    print('Failed to get reading. Try again!')

```

Listing 2. Quelltext simplestest.py (Ausschnitt) zum Auslesen eines Temperatursensors.

```

debian@beaglebone: ~/Adafruit_Python_DHT/examples
debian@beaglebone:~/Adafruit_Python_DHT/examples$ sudo ./simpletest.py
Temperature = 25.7°C Humidity = 54.0%
debian@beaglebone:~/Adafruit_Python_DHT/examples$ sudo ./simpletest.py
Temperature = 25.7°C Humidity = 54.0%
debian@beaglebone:~/Adafruit_Python_DHT/examples$ sudo ./simpletest.py
Temperature = 25.8°C Humidity = 54.0%
debian@beaglebone:~/Adafruit_Python_DHT/examples$
    
```

Bild 7. Aufruf und Ausgabe des Python-Script simpletest.py.

Instruments unterstützt. Es handelt sich hier um eine von der Community unterstützte Initiative. Für weitere Informationen und Implementierungsbeispiele empfiehlt sich ein Blick in den AM335x PRU-ICSS Reference Guide [15].

Alternativen zu BeagleBone Black

Kann man seine Aufgabenstellung mit einem BeagleBone Black umsetzen, will sich aber nicht um die Hardware selbst kümmern, dann bietet sich eine kommerzielle Lösung an. Neben dem schon erwähnten BeagleCore soll hier vor allem das in Bild 10 gezeigte phyBOARD-Wega der Mainzer Firma Phytex angesprochen werden.

Das phyBOARD-Wega im Pico-ITX-Format (100 x 72 mm²) ist der Winzling unter den phyBOARDS. Das aufgelötete CPU-Modul phyCORE-AM335x mit ARM-Cortex-A8-Prozessor kann man auch in eigenen Designs einsetzen. An Schnittstellen ist ein Subset direkt auf das phyBOARD herausgeführt, das für viele Anwendungen völlig ausreichend ist. Darüber hinaus ist das phyBOARD-Wega über Expansionsleisten modular erweiterbar. Sollten die Features des phyBOARD-Wega nicht den Anforderungen entsprechen, hat der Hersteller mit dem SBCplus-Konzept die Möglichkeit, aus einer umfangreichen Schaltplan- und Layout-Referenzbibliothek Projekte zu einem optimierten Preis anzubieten.

Für das phyBOARD-Wega sind in der OSADL QA-Farm ebenfalls Daten für einen Mainline Kernel PREEMPT_RT Patch abrufbar. Die maximale Latenzzeit, die hier bei 5 Millio-

nen Messungen aufgetreten ist, beträgt 0,29 ms.

Mit dem phyBOARD-Wega hat man einen mit dem BeagleBone Black vergleichbaren SBC

in den Händen, der für den industriellen Einsatz entwickelt und geprüft wurde. Dabei wird vom Hersteller nicht nur auf die Bauteilauswahl geachtet, sondern auch die Software in einer eigenen Testfarm ständigen Testläufen unterzogen. Hierbei wird die Testumgebung auch thermisch gestresst. Der Hersteller bietet bei zulassungsrelevanten Projekten (z.B. Medizin-, Fahrzeugtechnik, Luft- und Raumfahrt) auch an, den Produktionsprozess den Anforderungen gemäß durchzuführen.

Für den Produktiveinsatz geeignet

Das auf dem Sitara-Prozessor AM3358 von Texas Instruments aufbauende BeagleBone Black ist ein leistungsfähiger und für Aufgaben der Automatisierungstechnik sehr geeigneter SBC. Da sowohl die Hardware als auch das Linux-Betriebssystem Open Source sind, hat der Anwender alle Möglichkeiten für einen sicheren industriellen Einsatz dieses SBC in der Hand. Das System selbst ist sehr komfortabel eingerichtet, sodass eine einfache Inbetriebnahme und rascher Eintritt in das produktive

Benchmark of beaglebone / GNU/Linux on Wed Sep 07 2016

BYTE UNIX Benchmarks (Version 5.1.3)

Test System Information

System:	beaglebone: GNU/Linux
OS:	GNU/Linux -- 3.8.13-bone79 -- #1 SMP Tue Oct 13 20:44:55 UTC 2015
Machine:	armv7l: unknown
Language:	en_US.utf8 (charmap="UTF-8", collate="UTF-8")
CPU(s):	0: ARMv7 Processor rev 2 (v7l) (0.0 bogomips)
Uptime:	14:43:40 up 2:05.1 user, load average: 0.01, 0.04, 0.05: runlevel 2015-11-12

Benchmark Run: 1 CPU; 1 parallel process

Time: 14:43:40 - 15:11:52; 28m 12s

System Benchmarks

Test	Score	Unit	Time	Iters.	Baseline	Index
Dhrystone 2 using register variables	3740724.6	lps	10.0 s	7	116700.0	320.5
Double-Precision Whetstone	215.3	WHIPS	10.0 s	7	55.0	39.1
Excel Throughput	543.4	lps	29.9 s	2	43.0	126.4
File Copy 1024 bufsize 2000 maxblocks	82144.5	KBps	30.0 s	2	3960.0	207.4
File Copy 256 bufsize 500 maxblocks	27327.4	KBps	30.0 s	2	1655.0	165.1
File Copy 4096 bufsize 8000 maxblocks	158033.5	KBps	30.0 s	2	5800.0	269.7
Pipe Throughput	177279.3	lps	10.0 s	7	12440.0	142.5
Pipe-based Context Switching	26811.9	lps	10.0 s	7	4000.0	65.0
Process Creation	1784.1	lps	30.0 s	2	126.0	142.6
Shell Scripts (1 concurrent)	947.5	lps	60.0 s	2	42.4	199.9
Shell Scripts (8 concurrent)	105.5	lps	60.3 s	2	6.0	175.9
System Call Overhead	364792.4	lps	10.0 s	7	15000.0	243.2
System Benchmarks Index Score:						153.9

Bild 8. Resultate des UNIX Bench für BeagleBone Black.

You CAN get it...

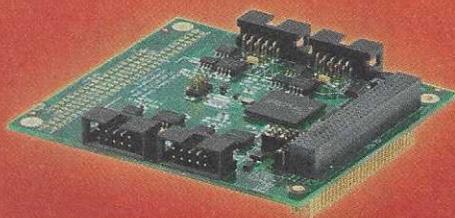
Hardware und Software für CAN-Bus-Anwendungen...



PCAN-USB X6

Sechskanal-CAN-FD-Interface für den USB-Port mit Datenübertragungsraten bis 12 Mbit/s. Auslieferung im Aluminiumgehäuse mit D-Sub-Anschlussteckern inkl. Monitor-Software und APIs.

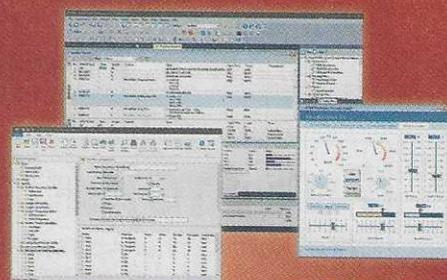
735 €



PCAN-PC/104-Plus

CAN-Interface für PC/104-Plus-Systeme mit bis zu 4 Kanälen.

ab 200 €



PCAN-Explorer 6

Professionelle Windows-Software zur Überwachung, Steuerung und Simulation von CAN-FD- und CAN 2.0-Bussen ■ Aufzeichnung und Wiedergabe ■ Automatisierung mit VBScript und Makros ■ Symbolische Nachrichtendarstellung ■ Funktionserweiterung durch Add-ins

ab 510 €

www.peak-system.com



Otto-Röhm-Str. 69
64293 Darmstadt / Germany
Tel.: +49 6151 8173-20
Fax: +49 6151 8173-29
info@peak-system.com

Alle Preise verstehen sich zzgl. MwSt., Porto und Verpackung. Irrtümer und technische Änderungen vorbehalten.

LINUTRONIX
LINUX FOR INDUSTRY

W Weiterbildung

Wissen ist Macht!

Linux Schulungen 2017

Januar 2017:

Industrie & Echtzeit	17. - 18. 01.
Tracing	19. 01.
Yocto	24. - 25. 01.

Februar 2017:

IoT und Security	07. - 08. 02.
Industrie & Echtzeit	21. - 22. 02.
Tracing	23. 02.

März 2017:

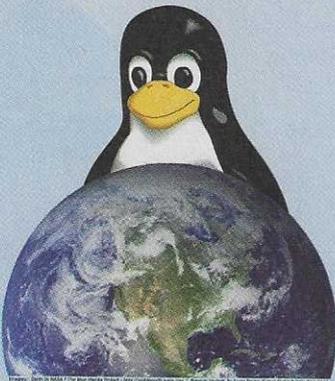
Netzwerktechnik und Security	13. - 16. 03.
Linux Advanced	21. - 23. 03.
Yocto	28. - 29. 03.

Mehr Info unter: www.linutronix.de

LINUTRONIX GMBH Telefon 07556 / 25 999 0

Embedded Linux

Beratung - Schulung - Entwicklung



Linux Portierung - Web - AJAX - Qt - Echtzeit

www.pengutronix.de
+49 (5121) 20 69 17 - 0

Pengutronix

FuE-Projekte?

Wissenschaftlicher Apparatebau

Sondermaschinen
Bildverarbeitung
Entwicklung
Elektronik
Software
Optik

Unikate und
Kleinserien...

aus einer Hand!



VERV
DIE ENTWICKLER

Vereinigte Elektronikwerkstätten GmbH
Edisonstr. 19 28357 Bremen
Fon.: 0421-271530 www.vew-gmbh.de

SINGLE-BOARD-COMPUTER, INDUSTRIE-PCs

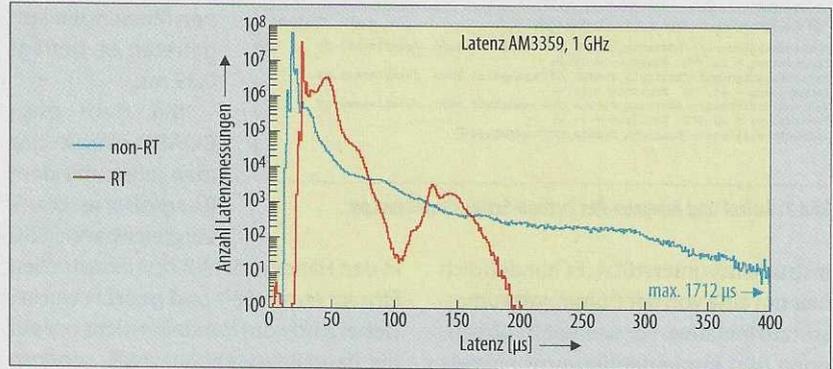


Bild 9. Latenzdaten eines AM3359, ausgestattet mit einem Standard-Kernel (non-RT, blau) und mit Realtime-Patch (rot).

Arbeiten gesichert sind. Will man sich nicht selbst um die Hardware kümmern, dann stehen kommerzielle Systeme, die genau den gleichen Ansatz verfolgen, zur Verfügung.

Das Beispiel BeagleBone Black und phyBOARD-Wega resp. phyCORE-AM335x zeigt eindrücklich, dass Open Source und industrielle Anwendung sich nicht unvereinbar gegenüber stehen – im Gegenteil. *jk*

Dr.-Ing. Claus Kühnel

studierte und promovierte an der Technischen Universität Dresden auf dem Gebiet der Informationselektronik und bildete sich später in Biomedizintechnik weiter. Bis zu seiner Pensionierung 2016 war er bei der QIAGEN Instruments AG in Hombrechtikon (CH) als Director Electronic Engineering & Embedded Systems für die Entwicklung von Elektronik-Hardware und Hardware-naher Software verantwortlich. Aktuell arbeitet er als Consultant und weiterhin als Autor.

info@ckuehnel.ch

Referenzen

- [1] Design and Document files for the BeagleBone Black from BeagleBoard. [org. github.com/beagleboard/BeagleBone-Black](https://github.com/beagleboard/BeagleBone-Black)
- [2] Beagleboard:Main Page. elinux.org/Beagleboard:Main_Page
- [3] Seedstudio – Grove Components. www.seedstudio.com/category/grove-c-45.html
- [4] SanCloud – BeagleBone Enhanced. www.indiegogo.com/projects/sancloud-beaglebone-enhanced#, elinux.org/SanCloud_BeagleBoneEnhanced
- [5] New Technologies – BeagleCore. www.beaglecore.com/
- [6] Design and Document files for the BeagleCore BCM1 and BCS1 based on Beagle-Bone Black from BeagleBoard. [org. github.com/BeagleCore/Hardware](https://github.com/BeagleCore/Hardware)
- [7] BeagleBoard.org Approved. beagleboard.org/approved
- [8] Cloud9: c9.io/
- [9] DHT Humidity Sensing on Raspberry Pi or Beaglebone Black with GDocs Logging. cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht-humidity-sensing-on-raspberry-pi-with-gdocs-logging.pdf
- [10] Resultate UNIX Bench. ckblog2016.wordpress.com/resultate-unixbench/
- [11] Linux und Echtzeit – Eine Übersicht prinzipieller Lösungsansätze. www.linutronix.de/uploads/images/PDF/WP_2011_Linux_+_Echtzeit_prinzipielle_Ansaetze_V1_0.pdf
- [12] OSADL Project: Realtime Linux. www.osadl.org/Realtime-Linux.projects-realtime-linux.0.html
- [13] HOWTO: Realtime-Preempt Kernel. www.osadl.org/Realtime-Preempt-Kernel.kernel-rt.0.html
- [14] Quality assurance of processors and boards at the OSADL QA Farm. www.osadl.org/Quality-assurance-at-the-OSADL-QA-Farm.osadl-services-qa.0.html
- [15] AM335x PRU-ICSS Reference Guide. github.com/beagleboard/am335x_pru_package
- [16] phyCORE-AM335x Downloads. www.phytec.de/produkt/system-on-modules/phycore-am335x-download/

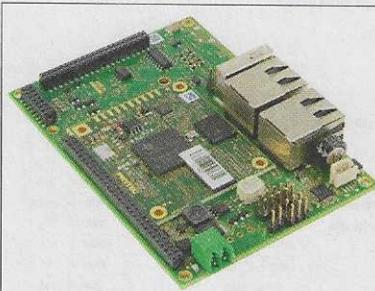


Bild 10. PhyBOARD-Wega mit phyCORE-AM335x als kommerzielle Alternative zum BeagleBone Black. (Bild: Phytec)