

Himbeerchen

Mini-Rechenmodul Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4)

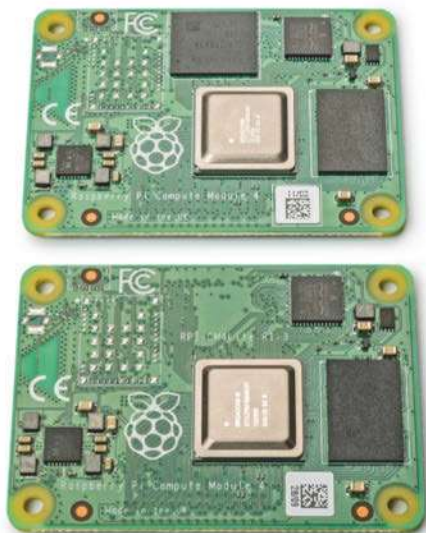
Die miniaturisierten Raspberry-Pi-Module der Raspberry Pi Foundation sind „Embedded Systems“, die andere Hersteller in ihre Geräte einbauen können. CM4-Funktionen wie der PCIe-Steckplatz sind auch für (NAS-)Bastler spannend, haben in der Praxis aber so ihre Tücken.

Von Christof Windeck

Den Raspberry Pi gibt es nicht nur in vier Generationen sowie mit unterschiedlich viel Arbeitsspeicher, sondern auch in Miniaturausführungen: den „Compute Modules“ (CM). Sie sind für professionelle Hardware-Entwickler und Gerätehersteller gedacht, die sie als kompakte Rechenmodule in ihre eigenen Produkte einbauen, beispielsweise in Steuergeräte für Schaltschränke. Doch die Module sind nicht teuer und locken Bastler mit einigen zusätzlichen Funktionen, die normalen Raspis fehlen: Etwa die Möglichkeit, eine SATA-Adapterkarte für ein NAS anzubinden. Das und noch einiges mehr haben wir im c't-Labor ausprobiert.

Das aktuelle Compute Module CM4 hat im Wesentlichen die Technik des Mitte 2019 eingeführten Raspberry Pi 4, also insbesondere das System-on-Chip Broadcom BCM2711 mit vier ARM-Cortex-A72-Kernen sowie 1, 2, 4 oder 8 GByte RAM. Anders als ein normaler Raspi hat ein CM aber weder Anschlussbuchsen noch Pfostenstecker, sondern man kann seine Schnittstellen nur indirekt verwenden, nämlich über eine passend ausgelegte Platine. Auf dieses Basis- oder Breakout-Board steckt man das jeweilige CM. Die Raspberry Pi Foundation sowie einige andere Firmen verkaufen universelle Basisplatinen, die die CM-Anschlüsse herausführen. Für das CM4 gibt es ein rund 38 Euro teures „Compute Module 4 IO Board“, das wir für diesen Testbericht gekauft haben. Am Beispiel von zwei verschiedenen CM4-Typen zeigen wir, wie man es in Betrieb nimmt.

Im Vergleich zu den Vorgängern CM (2014), CM3 (2017) und CM3+ (2019) hat das CM4 eine neue Bauform: Es ist deutlich kompakter als die älteren Versionen im SODIMM-Format von Notebook-Speichermodulen und hat statt eines seitlichen



Das Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4) gibt es in 32 verschiedenen Ausführungen. Hier zwei Varianten jeweils ohne WLAN-Adapter. Das obere CM4 im Bild hat einen eMMC-Flash-Chip (Mitte oben), das untere „CM4 Lite“ nicht.

Kontaktkamms zwei winzige Steckwan-
nen auf der Rückseite. Sie sind nur je 2,5
Millimeter schlank und 2,1 Zentimeter
lang, stellen aber zusammen 200 An-
schlüsse zum IO-Board bereit.

Funktionsunterschiede

Ein CM4 stellt im Vergleich zu einem
Raspi 4 einige zusätzliche Schnittstellen
bereit, insbesondere eine PCI-Express-
Lane (PCIe 2.0 x1) sowie je zwei statt nur
je einem CSI- und DSI-Anschluss für Ka-
meras (CSI) und Displays (DSI). Doch dem
CM4 fehlen auch Funktionen, vor allem
der USB-3.0-Controllerchip, der beim
Raspi 4 die erwähnte PCIe-Lane belegt.
Auf CM4-Versionen mit aufgelötetem
WLAN-Adapter sitzt eine leicht abgewan-
delte Ausführung des vom Raspi 4 bekann-
ten Broadcom/Cypress CYW43455 mit
Wi-Fi 5 (802.11ac, 2,4/5 GHz) und Blue-
tooth 5.0/BLE. Die CM4-WLAN-Versio-
nen sind bisher kaum lieferbar, wir konn-
ten keine zum Test ergattern.

Das IO-Board wiederum bietet einige
zusätzliche Chips und Anschlüsse im Ver-
gleich zum Raspi, darunter eine
PCIe-x1-Steckfassung, einen USB-2.0-
Hub für insgesamt bis zu vier USB-Buch-
sen (zwei davon per Pfostenstecker nutz-
bar) und eine Echtzeituhr (RTC, NXP
PCF85063A) samt Halterung für eine
CR2032-Pufferbatterie.

Wer eine PCIe-Karte einsetzen möch-
te, muss das IO-Board mit 12 Volt speisen;
ansonsten genügen 5 Volt, allerdings gibt
es dafür keine USB-C-Buchse, sondern
Pfostenstecker. Für die Einspeisung von
12 Volt ist eine runde Hohlbuchse (5,5/
2,5 mm) vorhanden, Onboard-Wandler
erzeugen daraus 5 und 3,3 Volt. An einem
„Floppy-Stromstecker“ auf dem IO-Board
liegen 12 und 5 Volt an; die 5-Volt-Schiene
ist mit bis zu 3 Ampere belastbar und die
12-Volt-Schiene je nach Netzteil. Im Test
reichte es für zwei SSDs samt Adapterkar-
te. Alternativ lässt sich das IO-Board über
den vierpoligen Floppystecker mit 12 und
5 Volt speisen; dann soll man laut Daten-
blatt jedoch die Spule L5 auslöten, damit
der 5-Volt-Wandler nicht dazwischen-
funkt.

Die Micro-USB-Buchse dient nicht
zur Stromversorgung, sondern ist vor
allem zur Installation des Betriebssystems
bei CM4-Versionen mit eMMC-Flash
wichtig. Denn bei diesen kann man ja nicht
– wie sonst bei Raspis üblich – eine Micro-
SD-Karte im Kartenleser am PC beschrei-
ben und dann umstecken. Für die
CM4-„Lite“-Typen ohne eMMC-Flash
gibt es einen MicroSD-Kartenleser, der bei
den CM4-Typen mit eMMC wiederum
funktionslos ist, also nicht etwa zusätzlich
nutzbar.

Die Raspi-typische GPIO-Kontakt-
leiste mit 40 Pins ist ebenso vorhanden
wie die vier Kontakte für ein PoE-HAT
zur Speisung per Power-over-Ethernet.
Das IO-Board hat zwei normal große
HDMI-Buchsen anstelle der beiden Mi-
croHDMI-Buchsen des Raspi 4. Schließ-
lich gibt es noch einige Lötäugen sowie
Pfostenstecker für nicht mitgelieferte
Jumper (2,54-Millimeter-Raster), um be-
stimmte Konfigurationen einzustellen,
sowie einen 12-Volt-Lüfteranschluss.
Eine Audio-Klinkenbuchse fehlt dem IO-
Board hingegen.

**Zwei winzige
längliche Steck-
verbinder mit je
100 Kontakten
koppeln ein
CM4 an das
IO-Board.**



Inbetriebnahme

Die Montage des CM4 auf dem IO-Board
ist einfach: Man steckt es auf die Kontakt-
leisten; die richtige Orientierung erkennt
man an den je vier Bohrungen im IO-
Board und im CM4, die übereinanderlie-
gen müssen. Die beiden 100-poligen
Steckverbinder rasten durch sanften, aber
bestimmten Druck ein. Um das CM4 wie-
der zu entfernen, schiebt man am Rand
des IO-Boards ein flaches Hebelwerkzeug
vorsichtig zwischen Platine und CM4, um
letzteres hochzudrücken.

Etwas schwieriger als die Montage ist
die Inbetriebnahme eines CM4 auf dem
IO-Board. Zwar gibt es PDF-Datenblätter
und Online-Anleitungen der Raspi-Foun-
dation; sie zielen aber eher auf Profis
als auf unerfahrene Bastler. Außerdem
braucht man für manches CM4 noch mehr
als Tastatur, Maus, Monitor und (12-Volt-)
Netzteil. Für ein CM4 Lite sind noch eine
MicroSD-Speicherkarte samt Kartenleser
nötig, während man für ein CM4 mit
eMMC-Flash auch ein Micro-USB-Kabel
braucht sowie einen Jumper und möglichst
auch eine USB-Adapterkarte in PCIe-x1-
Bauform – ob USB 2.0 oder USB 3.x, ist
dabei egal.

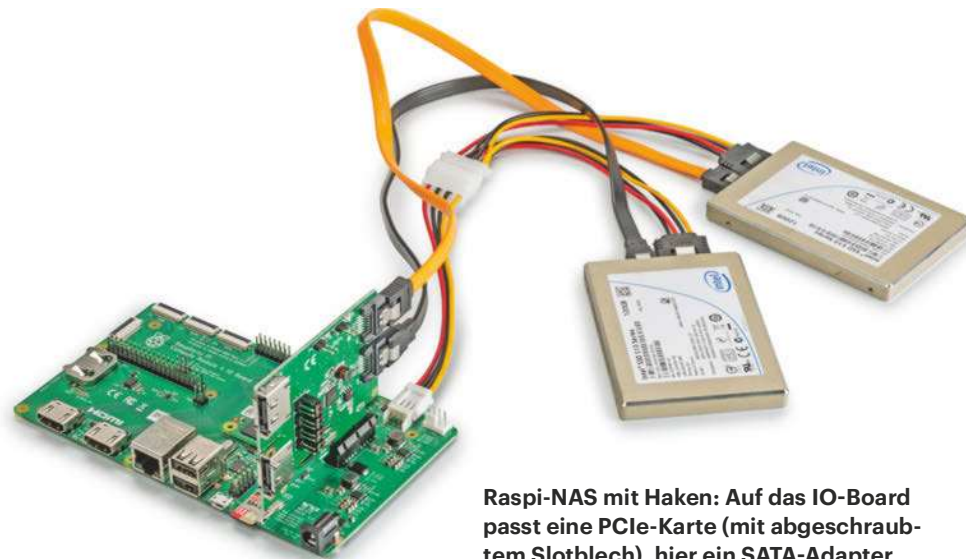
Setzt man ein CM4 Lite ohne eigenen
Flash-Speicher ein, schreibt man wie auch
bei normal großen Raspis zuerst das Rasp-
berry Pi OS (oder ein anderes kompatibles
Betriebssystem wie Ubuntu for Raspi) auf
eine MicroSD-Karte. Das klappt an einem
PC mit Windows, macOS oder Linux, alle
nötigen Tools finden sich via raspberrypi.
org (siehe ct.de/y1b1). Das CM4 Lite boo-
tet anschließend von der MicroSD-Karte,
die man zuvor in den Kartenleser des IO-
Board steckt.

Bei einem CM4 mit eMMC-Flash ist
die Installation komplizierter, weil man
das Betriebssystem-Image per Micro-
USB-Kabel in den Flash-Speicher des CM4
schreiben muss. Man spart sich zwar die

MicroSD-Karte, braucht aber einen Jumper für die Pins 1 und 2 des Pfostensteckers J2 auf dem IO-Board. Denn nur mit diesem Jumper meldet der CM4 seinen eigenen Flash-Speicher als USB-Massenspeicher am Host-PC an. Läuft auf diesem Windows, muss man zudem einen speziellen Treiber installieren sowie die im Treiberpaket enthaltene Anwendung RPiboot.exe starten, damit der eMMC-Speicher beschreibbar wird. Mit dem Win32DiskImager (oder unter Linux mit dd) schreibt man schließlich das entpackte Betriebssystem-Image in den Flash-Speicher des CM4, was wegen der mageren Datentransferrate von nur rund 5 MByte/s über 20 Minuten dauert. Anschließend trennt man das IO-Board sowohl vom Netzteil als auch vom Host-PC und entfernt den J2-Jumper wieder. Schließt man das Netzteil wieder an, startet das CM4 wie jeder andere Raspi auch – die Anleitung und die Treiber finden Sie unter ct.de/y1b1.

USB-Falle

Beim nächsten Schritt tappt man nun in eine Falle: Um Strom zu sparen, ist bei der Standard-Firmware für das CM4 der interne USB-2.0-Controller im BCM2711 abgeschaltet. Er lässt sich zwar durch eine kleine Änderung der Datei `/boot/config.txt` einschalten, aber wie kommt man ohne Maus, Tastatur und SSH-Verbindung dort heran? Beim CM4 Lite kann man die MicroSD-Karte in einen anderen Raspi stecken, dort davon booten und die Änderung vornehmen. Beim CM4 mit eMMC kommt jetzt der erwähnte PCIe-USB-



Raspi-NAS mit Haken: Auf das IO-Board passt eine PCIe-Karte (mit abgeschraubtem Slotblech), hier ein SATA-Adapter für zwei SSDs.

Hostadapter ins Spiel, an den man Maus und Tastatur anschließt. In `/boot/config.txt` fügt man mit einem Editor wie `mousepad` oder `nano` (gestartet mit Admin-Rechten etwa per `sudo mousepad`) folgende Zeile hinzu: `dtoverlay=dwc2,dr_mode=host`

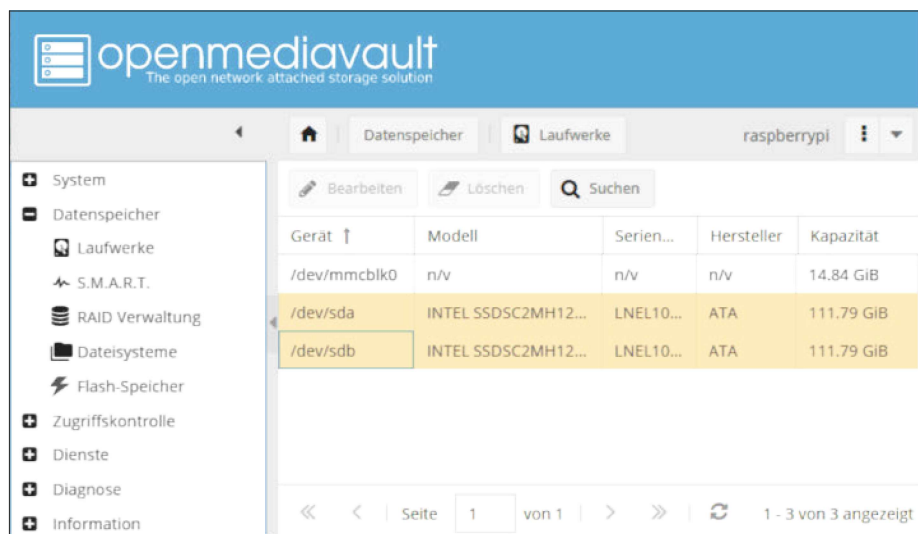
Nach dem Abspeichern und einem Neustart ist der interne USB-2.0-Controller im BCM2711 aktiv und man kann Tastatur und Maus an die beiden USB-A-Buchsen des IO-Board umstöpseln sowie die PCIe-USB-Karte wieder entfernen – vorsichtshalber nach Abziehen des Netzteils!

Dank des USB-Hub-Chips auf dem IO-Board lassen sich über einen zehnpoligen Pfostenstecker noch zwei weitere

USB-2.0-Buchsen anschließen. Dazu eignet sich im Prinzip ein PC-Slotblech mit einem solchen Buchsenpaar, allerdings ist auf dem IO-Board der zehnte Pin vorhanden und nicht wie bei PC-Mainboards üblich zur Kodierung der Steckerorientierung entfernt. Man muss also das verschlossene Loch an den Steckern der USB-2.0-Slotbleche öffnen oder den zehnten Pin auf dem IO-Board abknipsen.

Performance

Für unsere Experimente haben wir ein CM4 mit 8 GByte RAM und 32 GByte eMMC-Flash gekauft (Typ CM4008032) sowie ein CM4 Lite mit 2 GByte RAM, aber ohne Flash (CM4002000). Beide lieferten praktisch dieselbe Performance wie ein normaler Raspberry Pi 4, Benchmarks mit 7-zip und openssl waren rund 2 Prozent langsamer. Beim Ethernet-Durchsatz konnten wir ebenfalls keine Unterschiede zum Raspi 4 feststellen und auch die Leistungsaufnahme lag auf ähnlichem Niveau, nämlich im Leerlauf bei rund 2,4 Watt ohne Ethernet-Verbindung und bei etwa 2,5 Watt mit. Als 12-Volt-Netzteil haben wir das Leicke NT03122 mit 2 A Belastbarkeit für 13 Euro bei Amazon bestellt. Es arbeitete effizient, aber bei der Berührung der Masseleitung war ein Berührungsstrom zu spüren. Während sich der eMMC-Speicher per Micro-USB-Kabel nur gemächlich befüllen lässt, ist er intern deutlich schneller an den BCM2711 angebunden, er liefert mehr als 80 GByte/s und 3500 IOPS.



Im Prinzip lässt sich NAS-Software wie OpenMediaVault auf dem CM4 mit PCIe-SATA-Adapter verwenden, aber dazu muss man den Linux-Kernel neu kompilieren.

NAS-Herausforderung

Der PCI-Express-Steckplatz des IO-Board erfreut Bastler, die ein Raspi-NAS zusammenstellen wollen. Während das beim normalen Raspi 4 nur mit (externen) USB-Platten oder USB-SSDs möglich ist, kann man auf das CM4-IO-Board auch einen SATA-Adapter stecken. Um es gleich vorweg zu nehmen: Die Sache hat einige Haken.

Der Videoblogger Jeff Geerling hat eine Reihe von PCIe-SATA-Adaptern ausprobiert und Tipps dazu veröffentlicht (siehe ct.de/y1b1), von denen wir manche nachvollzogen haben. Zwei Aspekte sind dabei besonders wichtig: Erstens funktionieren nur bestimmte SATA-Adapterkarten gut und zweitens muss man dazu den Linux-Kernel des Raspberry Pi OS und je nach Karte auch die nötigen Treiber neu kompilieren. Letzteres dauert auf dem CM4 nicht nur über eine Stunde, sondern zieht bei späteren Updates des Betriebssystems möglicherweise einigen Mehraufwand nach sich [1]. Denn falls ein Kernel-Update kommt, muss man manchmal wiederum Kernel und Treiber neu übersetzen. Manche PCIe-Karten bringen zudem das System zum Absturz (Kernel Panic), wenn man nicht den PCIe-Adressbereich im RAM (Base Address Register, BAR) durch einen Eingriff in den Device Tree Blob erweitert.

Der angepasste Kernel ist deshalb nötig, weil Raspberry Pi OS standardmäßig keine SATA-beziehungsweise SATA-AHCI-Funktionen mitbringt. Außerdem funktionieren bestimmte PCIe-Chips wie die SATA-Adapter Marvell 88SE9120 und 88SE9215 nur mit speziellen Treibern. Genügsamer war in unseren Versuchen eine PCIe-Karte mit dem Asmedia-Chip ASM1061, der mit den SATA-AHCI-Standardfunktionen auskam und auch keine Anpassung des PCIe BAR benötigte.

Die Marvell-Karten verlängerten auch die Bootdauer des CM4 deutlich. Mit mehr als zwei SATA-SSDs wird außerdem die Stromversorgung schwierig: Bei unseren Versuchen mit einer 88SE9215-Karte mit vier SATA-Ports, an die wir insgesamt drei SSDs anschlossen, stieg die Leistungsaufnahme des gesamten Systems beim Schreiben auf ein RAID 5 kurzzeitig auf mehr als 15 Watt. Außerdem lief dieser Versuchsaufbau nicht stabil, schon beim „Syncing“ des frisch eingerichteten RAID stürzte das System mehrfach ab. Auf der DeLock-Adapterkarte 90382 trägt der

Marvell 88SE9215 einen kleinen Kühlkörper, der sich auf mehr als 70 Grad Celsius erhitzte. Der Chip verheizt mindestens 4,5 Watt – also mehr als der Raspi unter Volllast –, selbst wenn er gar nichts tut. Das IO-Board schaltet zudem die PCIe-Karten im Soft-off-Zustand – also nach dem „Herunterfahren“ – nicht ab, sie ziehen dann weiterhin kontinuierlich Strom. Der Asmedia-Chip begnügte sich hingegen mit rund 2 Watt.

Mit zwei SATA-SSDs an einer Inline-Adapterkarte mit ASM1061 haben wir unter OpenMediaVault (OMV5) ein RAID 1 eingerichtet, das erwartungsgemäß funktionierte und über den Giga-bit-Ethernet-Anschluss des IO-Boards auf ordentliche Transferraten von 90 bis 105 MByte/s lieferte. Auch eine Syba-Karte mit Marvell-9120-Chip lief ähnlich gut, allerdings wie erwähnt nur mit kompiliertem Treiber und angepasstem PCIe BAR. Als NAS-Ersatz taugt der Aufbau allerdings kaum, weil nach jedem Betriebssystem-Update das Kompilieren des Kernels nötig werden kann und auch ein passendes Gehäuse fehlt.

SATA-RAID-Karten funktionieren nicht, es müssen reine SATA-Adapter sein. Mit Netzwerkkarten von Intel (82874L) und TP-Link (Realtek RTL8168) hatten wir ebenfalls Pech: Die Karten tauchten

laut `lspci` zwar im System auf, stellten aber keine Netzwerkverbindung her, selbst mit neu übersetztem Kernel inklusive Treiber. Auch mit dem 64-Bit-Linux Ubuntu for Raspi in Version 20.04 traten ähnliche Schwierigkeiten auf.

Fazit

Das Raspberry Pi Compute Module 4 macht die Raspi-Technik noch flexibler nutzbar, vor allem dank der PCI-Express-Schnittstelle. Doch um manche PCIe-Karte zum Laufen zu bringen, sind tiefgründige Linuxkenntnisse nötig. Schon um ein CM4 auf dem günstigen IO-Board der Raspberry Pi Foundation in Betrieb zu nehmen, muss man sich ein wenig einarbeiten. Dabei kommt man mit einer „Lite“-Version des CM4 und einer separaten MicroSD-Karte leichter ins Ziel als mit einer der eMMC-Flash-Versionen. Für Bastler wiederum ist ein normaler Raspi fast immer besser geeignet als ein Raspi-Modul wie das CM4. (ciw@ct.de) **ct**

Literatur

[1] Thorsten Leemhuis, FAQ, Basics zum Linux-Kernel, Teil 3, c't 5/2018, S. 156

Downloads und Anleitungen: ct.de/y1b1

Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4) & IO-Board

Compute Module CM4 (CM4002000, CM4008032)	
Hersteller	Raspberry Pi Foundation
Prozessor	Broadcom BCM2711
RAM	1, 2, 4 oder 8 GByte LPDDR4
Flash-Speicher	ohne oder mit 8, 16 oder 32 GByte eMMC
WLAN-Adapter	ohne oder mit Broadcom/Cypress CYW43455
Anschlüsse CM4	2 × 100-Pin-Wannenstecker
Abmessungen	5,5 cm × 4 cm, ca. 4 mm hoch
IO-Board für CM4	
Anschlussbuchsen	2 × HDMI, 1 × RJ45, 2 × USB-A 2.0, 1 × MicroUSB, 1 × MicroSD-Reader
interne Anschlüsse	40-Pin GPIO, 1 × PCIe 2.0 x1, 1 × Batterie (CR2032), 2 × CSI, 2 × DSI
Stromanschlüsse	1 × Hohlbuchse 12 V, 1 × 4-Pin 5 V/12V, 1 × PoE-HAT
Abmessungen	16 cm × 9,3 cm, ca. 19 mm hoch
Messungen mit Leicke-Netzteil NT03122 (12V/2A)	
Leistungsaufnahme Soft-off	0,2 W
Leerlauf ohne LAN	2,4 W
mit LAN / Volllast	2,5 / 4,8 W
Leerlauf / Schreiben ¹ mit ASM1061 ² oder Marvell 88SE9120 ³	4,4 / 11 W
Leerlauf / Schreiben ⁴ mit Marvell 88SE9215	8,1 / 15 W
Lesen / Schreiben auf RAID 1	89 / 105 MByte/s
openssl aes-128-cbc	85 MBit/s
7-Zip (7z b)	3356 / 7351 MIPS
Preis	25–100 € für CM4, 38 € für IO-Board
¹ mit Adapterkarte und 2 SATA-SSDs	² InLine 76696B
	³ Syba SI-PEX40061/IOCrest SY-PEX40061
	⁴ DeLock 90382