

Erste Schritte V2.10.0~pre1

2021-10-28

Table of Contents

1. Über LinuxCNC	2
1.1. Architecture - Context diagram	3
1.2. Das Betriebssystem	4
1.3. Wo bekomme ich Hilfe	4
2. System-Anforderungen	7
2.1. Mindestanforderungen	7
2.2. Kernel- und Versionsanforderungen	7
2.3. Problematische Hardware	8
3. Beziehen von LinuxCNC	10
3.1. Das Festplattenabbild (Imagedatei) herunterladen	10
3.2. Das Abbild auf ein bootfähiges Gerät schreiben	12
3.3. LinuxCNC ausprobieren	13
3.4. LinuxCNC installieren	14
3.5. Updates von LinuxCNC	14
3.6. Probleme bei der Installation	14
3.7. Alternative Methoden für eine Installation	14
4. LinuxCNC ausführen	18
4.1. Aufrufen von LinuxCNC	18
4.2. Konfiguration des Launchers (Startprogramms)	18
4.3. Nächste Schritte für die Konfiguration	21
4.4. Simulator-Konfigurationen	21
4.5. Konfigurationsressourcen	21
5. LinuxCNC updaten	23
5.1. Upgrade auf die neue Version	23
5.2. Aktualisieren ohne Netzwerk	26
5.3. Aktualisieren von Konfigurationsdateien für 2.9	26
5.4. Update von Konfigurationsdateien für 2.10.y	27
5.5. Preview renderer now requires OpenGL 3.3 core	28
5.6. Neue HAL-Komponenten	30
5.7. Neue Treiber	30
6. Glossar	31
7. Juristischer Abschnitt	39
7.1. Copyright-Bedingungen	39
7.2. GNU Free Documentation License	39

Das LinuxCNC-Team



Dieses Handbuch ist noch in Arbeit. Wenn Sie beim Schreiben, Redigieren oder bei der grafischen Aufbereitung helfen können, wenden Sie sich bitte an ein Mitglied des Redaktionsteams oder schreiben Sie eine E-Mail (bevorzugt auf Englisch, aber nicht zwingend, es findet sich jemand) an emc-users@lists.sourceforge.net.

Copyright © 2000-2025 LinuxCNC.org

Es wird die Erlaubnis erteilt, dieses Dokument unter den Bedingungen der GNU Free Documentation License, Version 1.1 oder einer späteren Version, die von der Free Software Foundation veröffentlicht wurde, zu kopieren, zu verbreiten und/oder zu verändern; ohne unveränderliche Abschnitte, ohne Texte auf der Vorderseite und ohne Texte auf der Rückseite des Umschlags. Eine Kopie der Lizenz ist in dem Abschnitt "GNU Free Documentation License" enthalten.

Wenn Sie die Lizenz nicht finden, können Sie eine Kopie bei uns bestellen:

Free Software Foundation, Inc.
51 Franklin Street
Fifth Floor
Boston, MA 02110-1301 USA.

(Maßgeblich ist die englische Sprachfassung, deswegen wurde sie hier nicht übersetzt, im Fall von Verständnisproblemen siehe zur Anregung <http://www.gnu.de/documents/gpl-3.0.de.html> und lassen Sie sich beraten)

LINUX® ist das eingetragene Warenzeichen von Linus Torvalds in den USA und anderen Ländern. Die eingetragene Marke Linux® wird im Rahmen einer Unterlizenz von LMI, dem exklusiven Lizenznehmer von Linus Torvalds, dem Eigentümer der Marke auf weltweiter Basis, verwendet.

Das LinuxCNC-Projekt ist nicht mit Debian® verbunden. Debian_ ist ein eingetragenes Warenzeichen im Besitz von Software in the Public Interest, Inc.

Das LinuxCNC-Projekt ist nicht mit UBUNTU® verbunden. UBUNTU ist eine eingetragene Marke im Besitz von Canonical Limited.

Chapter 1. Über LinuxCNC

LinuxCNC (the Enhanced Machine Control) is a software system for computer control of machine tools such as milling machines and lathes, robots such as puma and scara and other computer controlled machines up to 9 axes. LinuxCNC is free software with open source code. Current versions of LinuxCNC are entirely licensed under the GNU General Public License and Lesser GNU General Public License (GPL and LGPL).

To lower the entry-hurdle, LinuxCNC provides:

- einfaches Entdecken und Testen ohne Installation mit dem Live-Image,
- einfache Installation von der Live-Image,
- benutzerfreundliche grafische Konfigurationsassistenten zum schnellen Erstellen einer maschinenspezifischen Konfiguration,
- directly availability as regular packages of recent releases of Debian (since Bookworm) and Ubuntu (since Kinetic Kudu).

LinuxCNC provides a graphical user interface with many flavours to choose from to match your personal preferences and technical needs. Advanced users may directly exploit

- Tool zur Erstellung einer grafischen Benutzeroberfläche (Glade, Qt),
- the interpreter for *G-code* (the RS-274 machine tool programming language),
- Betrieb von Low-Level-Maschinenelektronik wie Sensoren und Motorantriebe,
- eine einfach zu bedienende *Steckplatinen*-Schicht für die schnelle Erstellung einer einzigartigen Konfiguration für Ihre Maschine,
- eine mit Leiterdiagrammen programmierbare Software-SPS.

Under the hood, LinuxCNC provides

- ein System zur Bewegungsplanung in Echtzeit mit Vorausschau,
- support for non-Cartesian motion systems is provided via custom kinematics modules. Available architectures include hexapods (Stewart platforms and similar concepts) and systems with rotary joints to provide motion such as PUMA or SCARA robots.
- support for a variety of hardware interfaces. The control can operate true servos (analog or PWM) with the feedback loop closed by the LinuxCNC software at the computer, or open loop with step-servos or stepper motors.
- Zu den Funktionen der Bewegungssteuerung gehören: Fräserradius- und Längenkompensation, auf eine bestimmte Toleranz begrenzte Bahnabweichung, Gewindedrehen, synchronisierte Achsenbewegung, adaptiver Vorschub, Vorschubübersteuerung durch den Bediener und konstante Geschwindigkeitsregelung.
- LinuxCNC runs on Linux using real-time extensions.

LinuxCNC expects G-code that if not entered manually is provided by another software, which supports CAM (Computer Automated Manufacturing) and determines what tool shall be used at what speed for

what geometry. Many prominent CAD (Computer Automated Design) tools that determine the desired final shape of your work piece (or the assembly of multiple work pieces that area to be produced individually) offer a CAM module.

1.1. Architecture - Context diagram

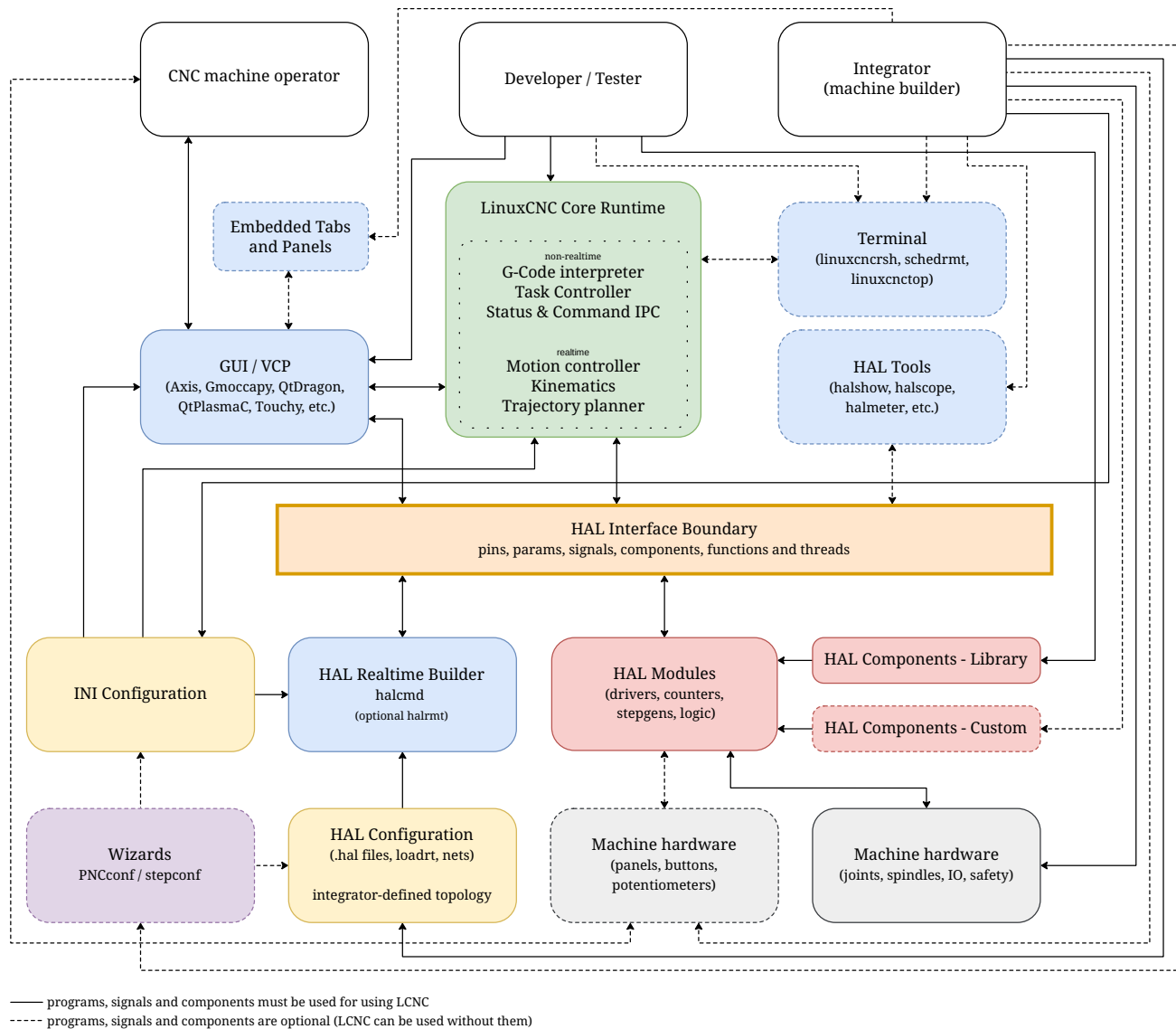


Figure 1. Roles of operators, integrators, developers and hardware

The diagram presents the components and players of the LinuxCNC ecosystem and how they interact. It is not intended to help you understand the functionality of LinuxCNC. Please refer to the following chapters for this.

Operator

Once a machine is set up, its operator will only use one of the many graphical user interfaces that LinuxCNC and external groups are providing. The requirements for the operator are determined by how the integrator has set up the machine. The integrator has the option of setting up the machine so that the operator only presses one button to start the machining process, or leaves the GUI in its default state and the operator will fully control the CNC machine using the GUI functionality and G,M,O-codes. The integrator may or may not create a physical or virtual panel for the operator with

various buttons and various indicators.

Integrator

It is on an integrator (machine builder) to ensure that the LinuxCNC configuration matches the hardware setup both in the wiring and the protocols spoken on those wires. The integrator can choose whether to set up the machine using the Wizard or to configure it manually. If the Wizard is used, the integrator's knowledge of LinuxCNC is minimal. It is enough to understand the machine hardware. If the integrator wants to use the maximum potential of LinuxCNC, he must be able to create or edit configuration files manually. To do this, it is enough to have knowledge of HAL, INI configuration and ideally the creation of custom HAL components or embedded panels. This knowledge will allow the connection of various hardware combinations with LNCN. Using INI, the integrator selects the GUI (Gmoccapy, Axis, Qt, ...), kinematics, number of axes, parameters (velocities, acceleration, distance, ...). Using HAL, the integrator selects the hardware control method (velocity mode / position mode, on-off control / analog control, without / with feedback, ...). Using a suitable HAL module, various components can be controlled via various buses (PCI, USB, Ethernet, EtherCAT, Modbus RTU/TCP, Parallel port, ...)

Developer

The LinuxCNC developers may be coming up with drivers for new hardware or other new features in the GUI and anything in between a mouse click and a motor turning. For testing, monitoring or possibly also the communication between multiple machines, also a text-based interface to LinuxCNC is available. Since LinuxCNC is an Open-source project, you can modify it in any way you like, provided you meet the very benevolent license conditions. You can create these modifications for the official LinuxCNC community, or for your own needs. Both paths have their advantages and disadvantages. If you offer your modification or improvement to the official developers, if they are interested, they can help you improve it even more and you will receive feedback. If you keep your modification to yourself, you do not have to worry about whether it will interest the official developers, but it may be a problem in the future if someone unfamiliar with these modifications were to maintain the machine you built (modifications, updates, fixes, ...). Of course, the developers modify all the code that is part of LinuxCNC, but the diagram only shows the links for which the developer's skills are necessary (C, C++, Python, Bash, GTK, Glade, QT, Linux OS, GitHub, PC hardware, ...)

Wizard

Wizards are standalone programs that LinuxCNC and external groups are providing. They can work without other LinuxCNC components. The main output of Wizards are configuration files (*.ini, *.hal and others). Therefore, it is possible to do your first machine setup using the Wizard and only later, after a deeper study of the LNCN configuration, can you edit the files generated by the Wizard.

1.2. Das Betriebssystem

LinuxCNC ist als gebrauchsfertige Pakete für Debian-Distributionen verfügbar.

1.3. Wo bekomme ich Hilfe

1.3.1. Web-Forum

Ein Webforum finden Sie unter <https://forum.linuxcnc.org> oder indem Sie dem Link oben auf der linuxcnc.org Homepage folgen.

Diese ist recht aktiv, aber die Zielgruppe ist stärker auf die Benutzer ausgerichtet als die Mailingliste. Wenn Sie sicher sein wollen, dass Ihre Nachricht von den Entwicklern gesehen wird, sollten Sie die Mailingliste bevorzugen.

1.3.2. IRC

IRC steht für Internet Relay Chat. Es ist eine Live-Verbindung zu anderen LinuxCNC-Benutzern. Der LinuxCNC IRC-Kanal ist #linuxcnc auf libera.chat.

Der einfachste Weg, um ins IRC zu gelangen, ist die Verwendung des eingebetteten Webclient-Clients [von libera](#).

Etwas IRC-Etikette

- Stellen Sie gezielte Fragen... Vermeiden Sie Fragen wie „Kann mir jemand helfen?“.
- Wenn Sie wirklich neu auf diesem Gebiet sind, denken Sie ein wenig über Ihre Frage nach, bevor Sie sie tippen. Stellen Sie sicher, dass Sie genügend Informationen geben, damit jemand Ihre Frage beantworten oder Ihr Problem lösen kann.
- Haben Sie etwas Geduld, wenn Sie auf eine Antwort warten. Manchmal dauert es eine Weile, bis eine Antwort formuliert wird, oder alle sind mit der Arbeit beschäftigt oder so.
- Richten Sie Ihr IRC-Konto mit Ihrem eindeutigen Namen ein, damit andere wissen, wer Sie sind. Wenn Sie den Java-Client verwenden, sollten Sie jedes Mal, wenn Sie sich anmelden, denselben Namen verwenden. So können sich die Leute merken, wer Sie sind, und wenn Sie schon einmal dabei waren, werden sich viele an die vergangenen Diskussionen erinnern, was für beide Seiten Zeit spart.

Dateien teilen

Die gängigste Art, Dateien im IRC auszutauschen, besteht darin, die Datei auf einen der folgenden oder einen ähnlichen Dienst hochzuladen und den Link einzufügen:

- Für Text: <https://pastebin.com/>, <https://gist.github.com/>, <https://0bin.net/>, <https://paste.debian.net/>
- Für Bilder: <https://imagebin.org/>, <https://imgur.com/>, <https://bayimg.com/>
- Für Dateien: <https://filedropper.com/>, <https://filefactory.com/>, <https://1fichier.com/>

1.3.3. Mailingliste

Eine Internet-Mailingliste ist eine Möglichkeit, Fragen zu stellen, die jeder auf dieser Liste sehen und nach Belieben beantworten kann. Auf einer Mailingliste können Sie Ihre Fragen besser stellen als im IRC, aber die Antworten dauern länger. Kurz gesagt: Sie senden eine Nachricht an die Liste und erhalten entweder tägliche Zusammenfassungen oder individuelle Antworten, je nachdem, wie Sie Ihr Konto eingerichtet haben.

Sie können die Mailingliste emc-users abonnieren unter: <https://lists.sourceforge.net/lists/listinfo/emc->

[users](#).

1.3.4. Web-Forum

Ein Webforum finden Sie unter <https://forum.linuxcnc.org/> oder indem Sie dem Link oben auf der <https://linuxcnc.org/> Homepage folgen.

Diese ist recht aktiv, aber die Zielgruppe ist stärker auf die Benutzer ausgerichtet als die Mailingliste. Wenn Sie sicher sein wollen, dass Ihre Nachricht von den Entwicklern gesehen wird, sollten Sie die Mailingliste bevorzugen.

1.3.5. LinuxCNC-Wiki

Eine Wiki-Site ist eine von Benutzern gepflegte Website, die von jedermann ergänzt und bearbeitet werden kann.

Die vom Benutzer gepflegte LinuxCNC-Wiki-Seite enthält eine Fülle von Informationen und Tipps zu <http://wiki.linuxcnc.org>.

1.3.6. Fehlerberichte

Melden Sie Fehler an den LinuxCNC GitHub [bug tracker](#).

Chapter 2. System-Anforderungen

2.1. Mindestanforderungen

Das minimale System, um LinuxCNC unter Debian/Ubuntu zu nutzen variiert mit der jeweiligen Anwendung. Stepper-Systeme benötigen im Allgemeinen schnellere Threads, um Schritimpulse zu erzeugen, als Servo-Systeme. Sie können die Live-CD verwenden, um die Software zu testen, bevor Sie sich für eine permanente Installation auf einem Computer entscheiden. Beachten Sie, dass die Zahlen des Latenz-Tests für die Software-Schritterzeugung wichtiger sind als die Prozessorgeschwindigkeit. Mehr Informationen über den Latency Test sind [hier](#). Außerdem muss LinuxCNC auf einem Betriebssystem ausgeführt werden, das einen speziell modifizierten Kernel verwendet, siehe [Kernel and Version Requirements](#).

Weitere Informationen finden Sie auf der LinuxCNC Wiki Seite: [Hardware Requirements](#)

LinuxCNC und Debian Linux sollte einigermaßen gut auf einem Computer mit den folgenden minimalen Hardware-Spezifikationen laufen. Diese Zahlen sind nicht das absolute Minimum, sondern wird eine angemessene Leistung für die meisten Stepper-Systeme geben.

- 1,2 GHz 64-bit x86-Prozessor oder Raspberry Pi 4 oder besser.
- 512 MB RAM, 4 GB mit GUI, um Überraschungen zu vermeiden
- Keine Festplatte für Live CD, 8 GB oder mehr für dauerhafte Installation
- Grafikkarte mit einer Auflösung von mindestens 1024x768, die nicht die proprietären NVidia- oder ATI-Treiber verwendet. Moderne Onboard-Grafikchipsätze scheinen im Allgemeinen in Ordnung zu sein.
- Internetverbindung (nicht unbedingt erforderlich, aber sehr nützlich für Updates und für die Kommunikation mit der LinuxCNC-Community)

Die Mindestanforderungen an die Hardware ändern sich mit der Weiterentwicklung der Linux-Distributionen, daher sollten Sie sich auf der [Debian](#)-Website über die Details der von Ihnen verwendeten Live-CD informieren. Bei älterer Hardware kann es von Vorteil sein, eine ältere Version der Live-CD zu wählen, wenn diese verfügbar ist.

Wenn Sie nicht auf die Verteilung von direkt ausführbaren Programmen (engl. binaries) vertrauen wollen und/oder zum Quellbaum von LinuxCNC beitragen wollen, dann gibt es eine gute Chance, dass Sie einen zweiten Computer zur Ausführung der Compilation benötigen. Obwohl LinuxCNC und Ihre Entwicklungen wahrscheinlich gleichzeitig in Bezug auf Festplattenspeicher, RAM und sogar CPU-Geschwindigkeit ausgeführt werden können, wird eine Maschine, die beschäftigt ist, schlechtere Latenzzeiten haben, so dass es unwahrscheinlich ist, dass Sie Ihren LinuxCNC Quellbaum zu kompilieren und gleichzeitig Chips produzieren.

2.2. Kernel- und Versionsanforderungen

LinuxCNC erfordert einen Kernel, der für die Echtzeitnutzung modifiziert wurde, um echte Maschinenhardware zu steuern. Es kann jedoch auf einem Standard-Kernel im Simulationsmodus für Zwecke wie die Überprüfung G-Code, Testen von Konfigurationsdateien und Lernen des Systems laufen.

Um mit diesen Kernel-Versionen arbeiten zu können, werden zwei Versionen von LinuxCNC verteilt. Die Paketnamen sind "linuxcnc" und "linuxcnc-ospace".

Die Echtzeit-Kerneloptionen sind preempt-rt, RTAI und Xenomai.

Sie können die Kernel-Version Ihres Systems mit dem folgenden Befehl ermitteln:

```
uname -a
```

Wenn Sie (wie oben) **-rt-** im Kernel-Namen sehen, dann laufen Sie mit dem preempt-rt Kernel und sollten die "ospace" Version von LinuxCNC installieren. Sie sollten auch ospace für "sim"-Konfigurationen auf Nicht-Echtzeit-Kerneln installieren.

Wenn Sie **-rtai-** im Kernel-Namen sehen, dann laufen Sie mit RTAI-Echtzeit. Siehe unten für die LinuxCNC Version zu installieren.

2.2.1. Preempt-RT mit dem Paket *linuxcnc-ospace*

Preempt-RT ist das jüngste der Echtzeitsysteme und ist auch die Version, die einem Mainline-Kernel am nächsten kommt. Preempt-RT-Kernel sind als vorkompilierte Pakete in den Haupt-Repositories verfügbar. Mit dem Suchbegriff "PREEMPT_RT" werden sie gefunden, und man kann sie wie jedes andere Paket herunterladen und installieren. Preempt-RT bietet im Allgemeinen die beste Treiberunterstützung und ist die einzige Option für Systeme, die Mesa-Ethernet Hardware-Treiberkarten verwenden. Im Allgemeinen hat preempt-rt die schlechteste Latenzzeit der verfügbaren Systeme, aber es gibt Ausnahmen.

2.2.2. RTAI mit *linuxcnc*-Paket

RTAI ist seit vielen Jahren die Hauptstütze der LinuxCNC-Distributionen. Es wird in der Regel die beste Echtzeit-Leistung in Bezug auf niedrige Latenz, aber möglicherweise schlechtere Peripherie-Unterstützung und nicht so viele Bildschirmauflösungen haben. Ein RTAI-Kernel ist im LinuxCNC-Paket-Repository verfügbar. Wenn Sie aus dem Live/Install-Image installiert haben, wird der Wechsel zwischen Kernel und LinuxCNC-Flavour in [Installing-RTAI] beschrieben.

2.2.3. Xenomai mit *linuxcnc-ospace* Paket

Xenomai wird auch unterstützt, aber Sie müssen den Kernel finden oder bauen und LinuxCNC aus den Quellen kompilieren, um es zu nutzen.

2.2.4. RTAI mit *linuxcnc-ospace*-Paket

Es ist auch möglich, LinuxCNC mit RTAI im User-Space-Modus zu betreiben. Wie bei Xenomai müssen Sie dazu aus dem Quellcode kompilieren.

2.3. Problematische Hardware

2.3.1. Laptops

Laptops sind im Allgemeinen nicht für die Erzeugung von Softwareschritten in Echtzeit geeignet. Auch hier wird Ihnen ein Latenztest über einen längeren Zeitraum die Informationen liefern, die Sie benötigen, um die Eignung festzustellen.

2.3.2. Videokarten

Wenn Ihre Installation mit einer Bildschirmauflösung von 800 x 600 erscheint, erkennt Debian höchstwahrscheinlich Ihre Grafikkarte oder Ihren Monitor nicht. Dies kann manchmal durch die Installation von Treibern oder die Erstellung/Bearbeitung von Xorg.conf-Dateien umgangen werden.

Chapter 3. Beziehen von LinuxCNC

Dieser Abschnitt beschreibt den empfohlenen Weg zum Herunterladen und zur Neuinstallation von LinuxCNC. Für die Abenteuerlustigen gibt es auch [alternative Installationsmethoden](#). Wenn Sie eine bestehende Installation haben, die Sie aktualisieren möchten, gehen Sie stattdessen zum Abschnitt [LinuxCNC aktualisieren](#).

NOTE

Um Maschinen zu bedienen, benötigt LinuxCNC einen speziellen Kernel mit Echtzeit-Erweiterungen. Hier gibt es drei Möglichkeiten: preempt-rt, RTAI oder Xenomai. Darüber hinaus gibt es zwei Versionen von LinuxCNC, die mit diesen Kernen arbeiten. Siehe die nachfolgende Tabelle für Details. Für Code-Tests und Simulationen ist es jedoch möglich, die **linuxcnc-ospace**-Anwendung auf einem regulären Kernel der Distribution zu betreiben.

Neue Installationen von LinuxCNC werden am einfachsten mit dem Live/Install Image erstellt. Dies ist ein hybrides ISO-Dateisystem-Image, das auf ein USB-Speichergerät oder eine DVD geschrieben und zum Booten eines Computers verwendet werden kann. Beim Booten haben Sie die Wahl, das "Live"-System zu starten (um LinuxCNC auszuführen, ohne irgendwelche dauerhaften Änderungen an Ihrem Computer vorzunehmen) oder den Installer zu starten (um LinuxCNC und sein Betriebssystem auf der Festplatte Ihres Computers zu installieren).

Der Prozess sieht grob umrissen wie folgt aus:

1. Laden Sie das Live/Installations-Image herunter.
2. Schreiben Sie das Image auf ein USB-Speichergerät oder eine DVD.
3. Booten Sie das Live-System, um LinuxCNC zu testen.
4. Booten Sie das Installationsprogramm, um LinuxCNC zu installieren.

3.1. Das Festplattenabbild (Imagedatei) herunterladen

In diesem Abschnitt werden einige Möglichkeiten zum Herunterladen des Live/Install Image beschrieben.

3.1.1. Normales Herunterladen

Software für LinuxCNC zum Download wird auf der Website des Projekts [Downloads-Seite](#) vorgestellt. Die meisten Benutzer werden für das Festplattenbild für Intel/AMD-PCs zielen, die URL ähnelt https://www.linuxcnc.org/iso/linuxcnc_2.9.8-amd64.hybrid.iso.

Für den Raspberry Pi werden mehrere Bilder bereitgestellt, um Unterschieden zwischen RPi4 und RPi5 gerecht zu werden.

NOTE

Verwenden Sie nicht die regelmäßige Raspbian-Distribution für LinuxCNC, die Sie möglicherweise zusammen mit Ihrem RPi Starter-Kit erhalten haben - das wird nicht den Echtzeit-Kernel nutzen und Sie können nicht von Raspbian auf Debians Kernel migrieren.

3.1.2. Herunterladen mit zsync

zsync ist eine Download-Anwendung, die unterbrochene Downloads wieder aufnimmt und große Dateien mit kleinen Änderungen effizient überträgt (wenn Sie eine ältere lokale Kopie haben). Bitte beachten Sie, dass es das http Protokoll nutzt, nicht https. Verwenden Sie zsync, wenn das Herunterladen des Abbildes mit der Methode [Normales Herunterladen](#) häufig unterbrochen wird.

zsync unter Linux

1. Installieren Sie zsync mit Synaptic oder indem Sie Folgendes in einem [Terminal-Programm](#) ausführen

```
sudo apt-get install zsync
```

2. Führen Sie dann diesen Befehl aus, um das ISO-Abbild auf Ihren Computer herunterzuladen

```
zsync https://www.linuxcnc.org/iso/linuxcnc_2.9.8-amd64.hybrid.iso
```

Bitte denken Sie daran, den Hash-Wert (checksum) der heruntergeladenen .ISO-Datei wie nachfolgend beschrieben zu bestätigen, da die Authentizität des Servers mit dem HTTP-Protokoll nicht garantiert ist.

zsync unter Windows

Es gibt eine Windows-Portierung von zsync. Sie funktioniert als Konsolenanwendung und kann von <https://www.assembla.com/spaces/zsync-windows/documents> heruntergeladen werden.

3.1.3. Überprüfen des Abbilds

(Dieser Schritt ist nicht erforderlich, wenn Sie zsync verwendet haben)

1. Überprüfen Sie nach dem Herunterladen die Prüfsumme des Abbildes, um die Integrität sicherzustellen.

```
md5sum linuxcnc-2.9.8-amd64.iso
```

oder

```
sha256sum linuxcnc-2.9.8-amd64.iso
```

1. Vergleichen Sie dann mit diesen Prüfsummen

```
amd64 (PC)
md5sum: cf77d61fcba9641d7205ac33751e5f38
sha256sum: 72eab92d7c34c238b0429054dc52d240df8dc5f083e769a39194cfac3e4984e8
arm64 (Pi)
md5sum: 4547e8a72433efb033f0a5cf166a5cd2
sha256sum: ff3ba9b8dfb93baf1e2232746655f8521a606bc0fab91bffc04ba74cc3be6bf0
```

Überprüfen der md5 Prüfsumme unter Windows oder Mac

Windows wird nicht mit einem md5sum-Programm ausgeliefert, aber es gibt Alternativen. Weitere Informationen finden Sie unter: [How To MD5SUM](#)

3.2. Das Abbild auf ein bootfähiges Gerät schreiben

Das LinuxCNC Live/Install-ISO-Image ist ein hybrides ISO-Image, das direkt auf ein USB-Speichergerät (USB-Stick) oder eine DVD geschrieben und zum Booten eines Computers verwendet werden kann. Das Image ist zu groß, um auf eine CD zu passen.

3.2.1. Raspberry Pi Image

Das Raspberry Pi-Image ist ein komplettes SD-Karten-Image und sollte mit der [Raspberry Pi Imager App](<https://www.raspberrypi.com/software/>) auf eine SD-Karte geschrieben werden. Die imager app kann die .zip Datei direkt öffnen, sie muss also nicht entpackt werden.

3.2.2. AMD-64 (x86-64, PC) Festplatten-Image mit GUI-Tools

Downloaden und installieren Sie [Balena Etcher](#) (Linux, Windows, Mac) und schreiben Sie das heruntergeladene Bild auf ein USB-Laufwerk.

Wenn Ihr Bild nicht bootet, versuchen Sie bitte auch [Rufus](#). Es sieht komplizierter aus, scheint aber mit verschiedenen BIOSen kompatibel zu sein.

3.2.3. Linux Kommandozeile (engl. command line)

1. Schließen Sie ein USB-Speichergerät an (z. B. ein Flash-Laufwerk oder ein Gerät vom Typ Thumb Drive).
2. Ermitteln Sie die Gerätedatei, die dem USB-Flash-Laufwerk entspricht. Diese Information finden Sie in der Ausgabe von `sudo dmesg`, nachdem Sie das Gerät angeschlossen haben. `cat /proc/partitions` kann ebenfalls hilfreich sein.
3. Verwenden Sie den Befehl `dd`, um das Image auf Ihr USB-Speichergerät zu schreiben. Wenn Ihr Speichergerät zum Beispiel als `/dev/sde` angezeigt wird, verwenden Sie diesen Befehl:

```
dd if=linuxcnc_2.9.8-amd64.hybrid.iso of=/dev/sde bs=4k status=progress
```

3.2.4. Kommandozeile- MacOS

1. Öffnen Sie ein Terminal und geben Sie ein

```
diskutil list
```

2. Stecken Sie den USB-Stick ein und notieren Sie sich den Namen der neuen Festplatte, die angezeigt wird, z. B. `/dev/disk5`.
3. Trennen Sie den USB-Anschluss. Die oben gefundene Zahl sollte anstelle des N ersetzt werden.

```
diskutil unmountDisk /dev/diskN
```

4. Übertragen Sie die Daten mit dd, wie oben für Linux beschrieben. Beachten Sie, dass der Datenträgername ein "r" am Anfang hat.

```
sudo dd if=linuxcnc_2.9.8-amd64.hybrid.iso of=/dev/rdiskN bs=1m status=progress
```

Schreiben des Abbilds auf eine DVD unter Linux

1. Legen Sie einen DVD-Rohling in Ihren Brenner ein. Ein Fenster "CD/DVD Creator" oder "Disc-Typ auswählen" wird angezeigt. Schließen Sie es, da wir es nicht verwenden werden.
2. Suchen Sie das heruntergeladene Bild im Dateibrowser.
3. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die ISO-Image-Datei und wählen Sie Write to Disc.
4. Wählen Sie die Schreibgeschwindigkeit. Es wird empfohlen, mit der niedrigstmöglichen Geschwindigkeit zu schreiben.
5. Starten Sie den Brennvorgang.
6. Wenn ein Fenster "Wählen Sie einen Dateinamen für das Disk-Image" erscheint, wählen Sie einfach OK.

Schreiben des Abbilds auf eine DVD unter Windows

1. Downloaden und installieren Sie Infra Recorder, ein kostenloses und quelloffenes Programm zum Brennen von Images (slang für Festplattenabbilder), herunter und installieren Sie es: <https://infrecorder.org/>.
2. Legen Sie eine leere CD in das Laufwerk ein und wählen Sie Nichts tun oder Abbrechen, wenn ein Dialogfeld für die automatische Ausführung erscheint.
3. Öffnen Sie Infra Recorder, wählen Sie das *Actions* Menü, dann *Burn image*.

Schreiben des Abbilds auf eine DVD unter Mac OSX

1. Die .iso-Datei herunterladen
2. Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Datei im Finder-Fenster und wählen Sie "Auf einen Datenträger brennen". (Die Option zum Brennen auf einen Datenträger wird nur angezeigt, wenn der Computer über ein optisches Laufwerk verfügt oder angeschlossen ist.)

3.3. LinuxCNC ausprobieren

Schalten Sie den Computer mit dem angeschlossenen USB-Speichergerät oder der DVD im DVD-Laufwerk aus und schalten Sie ihn dann wieder ein. Dadurch wird der Computer vom Live/Installationsabbild gebootet und die Option Live-Boot gewählt.

NOTE

Wenn das System nicht von der DVD oder dem USB-Stick bootet, kann es erforderlich sein, die Bootreihenfolge im PC-BIOS zu ändern.

Sobald der Computer hochgefahren ist, können Sie LinuxCNC ausprobieren, ohne es zu installieren. Sie können keine benutzerdefinierten Konfigurationen erstellen oder ändern die meisten

Systemeinstellungen in einer Live-Sitzung, aber Sie können (und sollten) den Latenz-Test durchführen.

Um LinuxCNC auszuprobieren: Wählen Sie aus dem Menü Anwendungen/CNC den Eintrag LinuxCNC. Es öffnet sich ein Dialogfeld, aus dem Sie eine von vielen Beispielkonfigurationen auswählen können. An diesem Punkt ist es nur wirklich sinnvoll, eine "sim" Konfiguration zu wählen. Einige der Beispielkonfigurationen enthalten auf dem Bildschirm 3D simulierte Maschinen, suchen Sie nach "Vismach", um diese zu sehen.

Um festzustellen, ob Ihr Computer für die Erzeugung von Software-Schritimpulsen geeignet ist, führen Sie den Latenztest wie folgt aus: [here](#).

Zum Zeitpunkt des Schreibens des Live-Image ist nur mit dem preempt-rt Kernel und einem passenden LinuxCNC verfügbar. Auf mancher Hardware bietet dies möglicherweise keine ausreichende Latenzzeit. Es gibt eine experimentelle Version, die den RTAI-Echtzeit-Kernel verwendet, der oft eine bessere Latenzzeit bietet.

3.4. LinuxCNC installieren

Um LinuxCNC von der Live-CD zu installieren, wählen Sie beim Booten "Install (Graphical)".

3.5. Updates von LinuxCNC

Mit der normalen Installation der Update-Manager wird Sie über Updates zu LinuxCNC, wenn Sie online gehen und ermöglichen es Ihnen, einfach zu aktualisieren, ohne Linux Kenntnisse erforderlich. Es ist OK, alles außer dem Betriebssystem zu aktualisieren, wenn gefragt.

WARNING

Aktualisieren Sie das Betriebssystem nicht zu einer neuen Version, wenn Sie dazu aufgefordert werden. Sie sollten jedoch Betriebssystem *Aktualisierungen* akzeptieren, insbesondere Sicherheitsaktualisierungen.

3.6. Probleme bei der Installation

In seltenen Fällen kann es vorkommen, dass Sie das BIOS auf die Standardeinstellungen zurücksetzen müssen, wenn während der Live-CD-Installation die Festplatte beim Booten nicht erkannt wird.

3.7. Alternative Methoden für eine Installation

4Der einfachste und bevorzugte Weg, LinuxCNC zu installieren, ist die Verwendung des Live/Install Image wie oben beschrieben. Diese Methode ist so einfach und zuverlässig wie wir sie machen können und eignet sich für Anfänger und erfahrene Benutzer gleichermaßen. Jedoch wird in der Regel diese alle vorhandenen Betriebssysteme auf Ihrer Festplatte überschreiben. Wenn Sie Dateien auf Ihrem Ziel-PC haben, die Sie noch behalten möchten, so wählen eine der in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden.

Zusätzlich, für erfahrene Benutzer, die mit der Debian-Systemadministration vertraut sind (Finden von Installations-Images, Manipulieren von apt-Quellen, Ändern von Kernel-Flavors usw.), werden neue

Installationen auf den folgenden Plattformen unterstützt: ("amd64" bedeutet "64-Bit" und ist nicht spezifisch für AMD-Prozessoren, es läuft auf jedem 64-Bit-x86-System)

Distribution	Architektur	Kernel	Paket-Name	Typische Verwendung
Debian Trixie	amd64 & armhf	preempt-rt	linuxcnc-ospace	Maschinensteuerung und -simulation
Debian Trixie	amd64	RTAI	linuxcnc	Maschinensteuerung (engl. machine control)
Debian Bookworm	amd64 & armhf	preempt-rt	linuxcnc-ospace	Maschinensteuerung und -simulation
Debian Bookworm	amd64	RTAI	linuxcnc	Maschinensteuerung (engl. machine control)
Debian Bullseye	amd64	preempt-rt	linuxcnc-ospace	Maschinensteuerung und -simulation
Jede (engl. any)	Jede (engl. any)	LinuxCNC direkt nach der Installation	linuxcnc-ospace	NUR Simulation

NOTE LinuxCNC v2.9 ist nicht lauffähig auf Debian 9 und früheren Debian Versionen.

Preempt-RT-Kernel

Die Preempt-rt-Kernel sind für Debian aus dem regulären debian.org-Archiv verfügbar. Das Paket heißt **linux-image-rt-***. Installieren Sie das Paket einfach wie jedes andere Paket über den Synaptic-Paketmanager oder mit apt-get über die Kommandozeile.

RTAI-Kernel

Die RTAI-Kernel stehen im linuxcnc.org-Debian-Archiv zum Download bereit. Die apt-Quelle ist:

- Debian Trixie: **deb http://linuxcnc.org trixie base**
- Debian Bookworm: **deb http://linuxcnc.org bookworm base**
- Debian Bullseye: **deb http://linuxcnc.org bullseye base**
- Debian Buster: **deb http://linuxcnc.org buster base**

LinuxCNC und der RTAI kernel sind jetzt nur für 64-bit Betriebssysteme verfügbar, aber es gibt nur sehr wenige überlebende Systeme, die nicht mit einem 64-Bit-Betriebssystem arbeiten können.

3.7.1. Installation auf Debian Trixie (mit Preempt-RT-Kernel)

1. Installieren Sie Debian Trixie (Debian 13), Version amd64. Sie können das Installationsprogramm hier herunterladen: <https://www.debian.org/distrib/>

2. Wenn Sie nach dem Brennen der Iso und dem Booten den Gnome-Desktop nicht möchten, wählen Sie "Erweiterte Optionen" > "Alternative Desktop-Umgebungen" und wählen Sie die gewünschte aus. Dann wählen Sie "Installation" oder "Graphische Installation".

WARNING

Geben Sie kein root-Passwort ein, da sonst sudo deaktiviert ist und Sie die folgenden Schritte nicht abschließen können.

3. Führen Sie das Folgende in einem [Terminal](#) aus, um den Rechner auf den neuesten Stand der Pakete zu bringen.

```
sudo apt-get update
sudo apt-get dist-upgrade
```

NOTE

It is possible to download a version of LinuxCNC directly from Debian (currently version 2.9.4) but a more up-to-date version (2.9.8) can be installed from the LinuxCNC repository.

4. Installieren Sie den Preempt-RT kernel and Module

```
sudo apt-get install linux-image-rt-amd64
```

5. Starten Sie neu und wählen Sie den Linux 6.1.0-10-rt-amd64 Kernel. Die genaue Kernel-Version kann abweichen, suchen Sie nach dem Suffix "-rt". Dies könnte im Untermenü "Erweiterte Optionen für Debian Bookworm" in Grub versteckt sein. Wenn Sie sich anmelden, stellen Sie sicher, dass *PREEMPT RT* mit dem folgenden Befehl gemeldet wird.

```
uname -v
```

6. Öffnen Sie Menü Anwendungen > System > Synaptic Package Manager, suchen Sie nach *linux-image*, klicken mit der rechten Maustaste auf das ursprüngliche Nicht-rt und wählen Sie "Zur vollständigen Entfernung markieren". Neu starten. Damit wird das System gezwungen, vom RT-Kernel zu booten. Wenn Sie es vorziehen, beide Kernel beizubehalten, müssen die anderen Kernel nicht gelöscht werden, aber es sind Änderungen an der Grub-Boot-Konfiguration erforderlich, die den Rahmen dieses Dokuments sprengen.
7. Fügen Sie den LinuxCNC Archive Signing Key zu Ihrem apt keyring hinzu, indem Sie [das LinuxCNC Installationsskript] herunterladen(<https://www.linuxcnc.org/linuxcnc-install.sh>). Sie müssen das Skript ausführbar machen, um es auszuführen:

```
chmod +x linuxcnc-install.sh
```

Dann können Sie den Installer ausführen:

```
sudo ./linuxcnc-install.sh
```

3.7.2. Installation unter Debian Trixie (mit experimentellem RTAI-Kernel)

1. Dieser Kernel und die LinuxCNC-Version können auf der Live DVD-Installation installiert werden, oder alternativ auf einer neuen Installation von Debian Trixie 64-bit, wie oben beschrieben.
2. Sie können die unterzeichnenden Schlüssel- und Repository-Informationen des LinuxCNC-Archivs hinzufügen, indem Sie das Installationsskript wie oben beschrieben herunterladen und ausführen. Wenn ein RTAI-Kernel erkannt wird, wird es vor der Installation von Paketen stoppen.
3. Aktualisieren Sie die Paketliste von linuxcnc.org

```
sudo apt-get update
```

4. Entfernen einer bereits existierenden uspace-Version von LinuxCNC und Installation eines neuen Echtzeit-Kernels, RTAI und die RTAI-Version von LinuxCNC.

```
sudo apt-get purge linuxcnc-uspace  
sudo apt-get purge linuxcnc-doc*  
sudo apt-get install linuxcnc
```

Starten Sie den Rechner neu und stellen Sie sicher, dass das System mit dem neuen Kernel 5.4.258-rtai bootet.

3.7.3. Installieren auf Raspbian 12

Tuen Sie das nicht. Die Latenzen sind zu schlecht mit dem Standard-Kernel und der PREEMPT_RT (die RT ist wichtig) Kernel von Debian bootet nicht auf der Pi (Stand: 1/2024). Bitte beachten Sie die online zur Verfügung gestellten .iso Images auf der regulären [LinuCNC download Seite](#). Sie können sie selbst gemäß den unter [online](#) verfügbaren Skripten erstellen.

Chapter 4. LinuxCNC ausführen

4.1. Aufrufen von LinuxCNC

Nach der Installation startet LinuxCNC wie jedes andere Linux-Programm: Führen Sie es aus dem [terminal](#) aus, indem Sie den Befehl `linuxcnc` eingeben, oder wählen Sie es im Menü *Anwendungen* → *CNC* aus.

4.2. Konfiguration des Launchers (Startprogramms)

Beim Starten von LinuxCNC (aus dem CNC-Menü oder von der Kommandozeile ohne Angabe einer INI-Datei) startet der Dialog Konfigurations-Auswahl.

Im Dialogfeld "Konfigurationsauswahl" kann der Benutzer eine seiner vorhandenen Konfigurationen (Meine Konfigurationen) oder eine neue Konfiguration (aus den Beispielskonfigurationen) auswählen, die in sein Home-Verzeichnis kopiert werden soll. Die kopierten Konfigurationen werden beim nächsten Aufruf der Konfigurationsauswahl unter Meine Konfigurationen angezeigt.

Der Konfigurations Selector bietet eine Auswahl an Konfigurationen:

- *Meine Konfigurationen* - Benutzerkonfigurationen in `linuxcnc/configs` in Ihrem Home-Verzeichnis.
- *Beispielskonfigurationen* - Beispielskonfigurationen werden, wenn ausgewählt, nach `linuxcnc/configs` kopiert. Sobald eine Beispielskonfiguration in Ihr lokales Verzeichnis kopiert wurde, bietet der Launcher sie als „Meine Konfigurationen“ an. Die Namen, unter denen diese lokalen Konfigurationen angezeigt werden, entsprechen den Namen der Verzeichnisse innerhalb des Verzeichnisses `configs/`:
 - *sim* - Konfigurationen, die simulierte Hardware enthalten. Diese können zum Testen oder Lernen, wie LinuxCNC funktioniert, verwendet werden.
 - *by_interface* - Konfigurationen nach GUI geordnet.
 - *by_machine* - Konfigurationen organisiert nach Maschine.
 - *apps* - Anwendungen, die kein Starten von `linuxcnc` erfordern, aber zum Testen oder Ausprobieren von Anwendungen wie [PyVCP](#) oder [GladeVCP](#) nützlich sein können.
 - *attic* - Veraltete oder historische Konfigurationen.

Die Simulationskonfigurationen sind oft der nützlichste Ausgangspunkt für neue Benutzer und sind nach unterstützten GUIs organisiert:

- *axis* - Tastatur- und Maus-GUI
- *craftsman* - Touch Screen GUI (nicht mehr weiterentwickelt???)
- *gmoccapy* - Touchscreen-GUI
- *gscreen* - Touchscreen-GUI
- *pyvcp_demo* - Python Virtual Control Panel
- *qtaxis* - Touchscreen-GUI, AXIS-Lookalike

-
- *qtdragon* - Touchscreen GUI
 - *qtdragon_hd* - Touchscreen-GUI, detaillierte Auflösung (engl. high definition)
 - *qtplasmac* - Touchscreen-GUI, für Plasma-Tische
 - *qttouchy* - Touchscreen-GUI
 - *tklinuxcnc* - Tastatur- und Maus-GUI (wird nicht mehr gepflegt)
 - *touchy* - Touchscreen-GUI
 - *woodpecker* - Touchscreen-GUI

Ein GUI-Konfigurationsverzeichnis kann Unterverzeichnisse mit Konfigurationen enthalten, die spezielle Situationen oder die Einbettung anderer Anwendungen veranschaulichen.

Die *by_interface*-Konfigurationen sind um gängige, unterstützte Schnittstellen herum organisiert:

- allgemeine Mechatronik
- mesa
- parport
- pico
- pluto
- servotogo
- vigilant
- vitalsystems

Um diese Konfigurationen als Ausgangspunkt für ein System zu verwenden, kann entsprechende Hardware erforderlich sein.

Die *by_machine*-Konfigurationen sind um vollständige, bekannte Systeme herum organisiert:

- boss
- cooltool
- scortbot erIII
- sherline
- smithy
- tormach

Für die Verwendung dieser Konfigurationen kann ein komplettes System erforderlich sein.

Die *Apps-Elemente* (engl. app items) sind typischerweise entweder:

1. utilities (engl. für Hilfsprogramme), für die linuxcnc nicht gestartet werden muss
 2. Demonstrationen von Anwendungen, die mit LinuxCNC verwendet werden können
 - info - erstellt eine Datei mit Systeminformationen, die für die Problem diagnose nützlich sein
-

können.

- gladevcp - Beispiele für GladeVCP-Anwendungen.
- halrun - Startet halrun in einem [Terminal](#).
- latency - Anwendungen zur Untersuchung der Latenz
 - latency-histogram-1 - Histogramm für einzelnen Servo-Thread
 - latency-histogram - Histogramm
 - latency-test - Standard-Test zur Bestimmung der Latenz
 - latency-plot - Streifendiagramm
- parport - Anwendungen zum Testen von parport.
- pyvcp - Beispiele für pyvcp-Anwendungen.
- xhc-hb04 – Anwendungen zum Testen eines drahtlosen USB-MPG xhc-hb04

NOTE

Im Verzeichnis Apps werden nur Anwendungen zum Kopieren in das Benutzerverzeichnis angeboten, die vom Benutzer sinnvollerweise geändert werden.

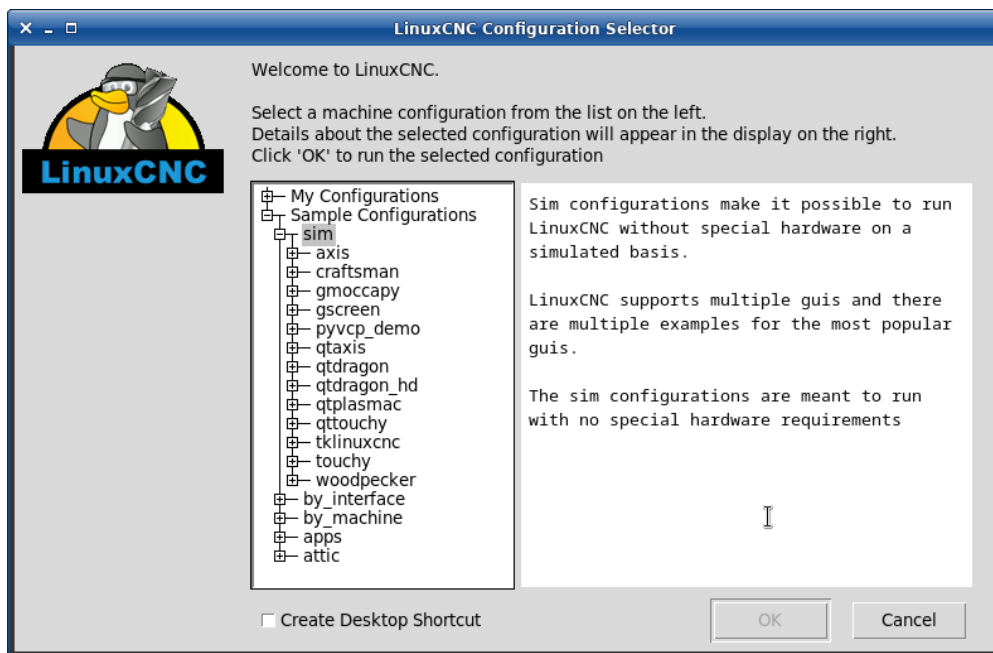


Figure 2. LinuxCNC-Konfigurationsauswahl

Klicken Sie auf eine der aufgelisteten Konfigurationen, um spezifische Informationen zu ihr anzuzeigen. Doppelklicken Sie auf eine Konfiguration oder klicken Sie auf OK, um die Konfiguration zu starten.

Wählen Sie "Desktop-Verknüpfung erstellen" und klicken Sie dann auf "OK", um ein Symbol auf dem Ubuntu-Desktop hinzuzufügen, mit dem diese Konfiguration direkt gestartet wird, ohne dass der Bildschirm "Konfigurationsauswahl" angezeigt wird.

Wenn Sie eine Konfiguration aus dem Abschnitt Beispielkonfigurationen auswählen, wird automatisch eine Kopie dieser Konfiguration im Verzeichnis ~/linuxcnc/configs abgelegt.

4.3. Nächste Schritte für die Konfiguration

Nachdem Sie die Beispielkonfiguration gefunden haben, die dieselbe Schnittstellenhardware wie Ihr Rechner verwendet (oder eine Simulatorkonfiguration), und eine Kopie in Ihrem Home-Verzeichnis gespeichert haben, können Sie sie an die Details Ihres Rechners anpassen. Weitere Informationen zur Konfiguration finden Sie im Integrator-Handbuch.

4.4. Simulator-Konfigurationen

Alle unter Beispielkonfigurationen/Sim aufgeführten Konfigurationen können auf jedem Computer ausgeführt werden. Es ist keine spezielle Hardware erforderlich und Echtzeitunterstützung ist nicht notwendig.

Diese Konfigurationen sind nützlich, um einzelne Fähigkeiten oder Optionen zu untersuchen. Die Sim-Konfigurationen sind nach der in der Demonstration verwendeten grafischen Benutzeroberfläche geordnet. Das Verzeichnis für die Achse enthält die meisten Auswahlmöglichkeiten und Unterverzeichnisse, da es sich um die am häufigsten getestete grafische Benutzeroberfläche handelt. Die Fähigkeiten, die mit einer bestimmten grafischen Benutzeroberfläche demonstriert werden, sind möglicherweise auch in anderen grafischen Benutzeroberflächen verfügbar.

4.5. Konfigurationsressourcen

Die Konfigurationsauswahl kopiert alle für eine Konfiguration benötigten Dateien in ein neues Unterverzeichnis von `~/linuxcnc/configs` (äquivalent: `/home/username/linuxcnc/configs`). Jedes erstellte Verzeichnis enthält mindestens eine INI-Datei (iniflename.ini), die zur Beschreibung einer bestimmten Konfiguration verwendet wird.

4.5.1. When the copy happens

For the following cases the Configuration Selector copies the chosen sample configuration to `~/linuxcnc/configs`:

- **Package install (deb, rpm, distro packages):** sample configurations live under a system path and are not writable.
- **The file is not in the directory tree of `CONFIG_DIR`** (environmental variable)
- **The file is in a directory included in `LINUXCNC_AUX_EXAMPLES`** (environmental variable)

For **Run-In-Place (RIP) builds** the source tree is normally writable by the user who built it, so the selector runs the configuration directly from the source tree without copying. Edits made through the configuration apply to the files in the RIP tree.

4.5.2. Forcing a copy from a RIP build

To test the copy-and-run path from a RIP build (or to keep a personal copy of a sample configuration outside the source tree), set the `debug_pickconfig` environment variable before launching LinuxCNC:

```
debug_pickconfig=1 linuxcnc
```

With this set, the selector copies the chosen sample configuration to `~/linuxcnc/configs` even though the RIP source tree is writable.

Zu den Dateiressourcen innerhalb des kopierten Verzeichnisses gehören in der Regel eine oder mehrere INI-Dateien (`Dateiname.ini`) für zugehörige Konfigurationen und eine Werkzeugtabellendatei (`Toolfilename.tbl`). Darüber hinaus können die Ressourcen HAL-Dateien (`Dateiname.hal`, `Dateiname.tcl`), eine README-Datei zur Beschreibung des Verzeichnisses und konfigurationsbezogene Informationen in einer nach einer bestimmten Konfiguration benannten Textdatei (`inifilename.txt`) enthalten. Die beiden letztgenannten Dateien werden angezeigt, wenn Sie die Konfigurationsauswahl verwenden.

Die mitgelieferten Beispielkonfigurationen können den Parameter `HALFILE` (`Dateiname.hal`) in der Konfigurations-INI-Datei angeben, die im kopierten Verzeichnis nicht vorhanden sind, da sie sich in der HAL-Dateibibliothek des Systems befinden. Diese Dateien können in das Benutzerkonfigurationsverzeichnis kopiert und nach Bedarf vom Benutzer für Modifikationen oder Tests geändert werden. Da das Benutzerkonfigurationsverzeichnis bei der Suche nach HAL-Dateien zuerst durchsucht wird, haben lokale Änderungen dann Vorrang.

Der Konfigurationsselektor erstellt einen symbolischen Link im Benutzerkonfigurationsverzeichnis (namens `hallib`), der auf die System-HAL-Datei-Bibliothek verweist. Diese Verknüpfung vereinfacht das Kopieren einer Bibliotheksdatei. Zum Beispiel, um die Bibliotheksdatei `core_sim.hal` zu kopieren, um lokale Änderungen vorzunehmen:

```
cd ~/linuxcnc/configs/name_of_configuration
cp hallib/core_sim.hal core_sim.hal
```

Chapter 5. LinuxCNC updaten

Die Aktualisierung von LinuxCNC auf eine neue Nebenversion (d.h. auf eine neue Version in der gleichen stabilen Serie, z.B. von 2.9.7 auf 2.9.8) ist ein automatischer Prozess, wenn Ihr PC mit dem Internet verbunden ist. Nach einem Minor-Release wird eine Update-Aufforderung zusammen mit anderen Software-Updates angezeigt. Wenn Ihr PC nicht mit dem Internet verbunden ist, lesen Sie bitte [Updating without Network](#).

5.1. Upgrade auf die neue Version

Dieser Abschnitt beschreibt, wie Sie LinuxCNC von Version 2.8.x auf eine Version 2.9.y aktualisieren. Es wird davon ausgegangen, dass Sie eine bestehende 2.8 Installation haben, die Sie aktualisieren möchten.

Um LinuxCNC von einer Version älter als 2.8 zu aktualisieren, müssen Sie zuerst [upgrade your old install to 2.8](#), dann folgen Sie diesen Anweisungen, um auf die neue Version zu aktualisieren.

Wenn Sie keine alte Version von LinuxCNC zu aktualisieren haben, dann sind Sie am besten aus machen eine frische Installation der neuen Version, wie im Abschnitt [LinuxCNC erhalten](#) beschrieben.

Darüber hinaus ist es unter Ubuntu Precise, Debian Wheezy oder Debian Buster eine Überlegung wert, ein Backup des "linuxcnc"-Verzeichnisses auf einem Wechselmedium vorzunehmen und eine [Neuinstallaion des neuesn Betriebssystems und der LinuxCNC version](#) durchzuführen, da diese Versionen des OS 2017, 2018 bzw. 2022 ausliefen. Wenn Sie Ubuntu Lucid nutzen, dann werden Sie dies tun müssen, da Lucid nicht mehr von LinuxCNC unterstützt wird (es war EOL im Jahr 2013).

Um größere Versionen wie 2.8 auf 2.9 zu aktualisieren, wenn Sie eine Netzwerkverbindung an der Maschine haben, müssen Sie die alten linuxcnc.org Quellen des Paketmanagers *apt* in der Datei */etc/apt/sources.list* deaktivieren und fügen Sie eine neue linuxcnc.org apt Quelle für 2.9 hinzu, um dann mit apt die LinuxCNC-Installation zu aktualisieren.

Die Details hängen von der Plattform ab, auf der Sie arbeiten. Öffnen Sie ein [terminal](#) und geben Sie `lsb_release -ic` ein, um diese Informationen herauszufinden:

```
lsb_release -ic
Distributor ID: Debian
Codename:      Trixie
```

Sie sollten auf Debian Bullseye, Bookworm oder Trixie oder Ubuntu 20.04 "Focal Fossa" oder neuer nutzen. LinuxCNC 2.9.x wird auf älteren Distributionen als diese nicht laufen.

Sie müssen auch prüfen, welcher Echtzeit-Kernel verwendet wird:

```
uname -r
6.1.0-10-rt-amd64
```

Wenn Sie (wie oben) `-rt-` im Kernel-Namen sehen, dann laufen Sie mit dem preempt-rt Kernel und sollten die "uspace" Version von LinuxCNC installieren. Sie sollten auch uspace für "sim"-Konfigurationen auf Nicht-Echtzeit-Kerneln installieren.

Wenn Sie **-rtai-** im Kernel-Namen sehen, dann laufen Sie mit RTAI-Echtzeit. Siehe unten für die LinuxCNC Version zu installieren. RTAI Pakete sind derzeit für Bookworm und Buster verfügbar.

5.1.1. Apt Sources Konfiguration

- Öffnen Sie das Fenster **Software-Quellen**. Die Vorgehensweise ist auf den drei unterstützten Plattformen leicht unterschiedlich:
 - Debian:
 - Klicken Sie auf **Anwendungsmenü**, dann **System**, dann **Synaptic Package Manager**.
 - Klicken Sie in Synaptic auf das Menü **Einstellungen** und dann auf **Repositories**, um das Fenster **Softwarequellen** zu öffnen.
 - Ubuntu Precise:
 - Klicken Sie auf das Symbol "Dash Home" oben links.
 - Geben Sie in das Feld "Suche" den Begriff "Software" ein und klicken Sie dann auf das Symbol "Ubuntu Software Center".
 - Klicken Sie im Ubuntu Software Center-Fenster auf das Menü "Bearbeiten" und dann auf "Softwarequellen...", um das Fenster "Softwarequellen" zu öffnen.
 - Ubuntu Lucid:
 - Klicken Sie auf das Menü "System", dann auf "Verwaltung" und dann auf "Synaptic Package Manager".
 - Klicken Sie in Synaptic auf das Menü **Einstellungen** und dann auf **Repositories**, um das Fenster **Softwarequellen** zu öffnen.
- Wählen Sie im Fenster "Software-Quellen" die Registerkarte "Andere Software".
- Löschen oder deaktivieren Sie alle alten linuxcnc.org-Einträge (lassen Sie alle nicht-linuxcnc.org-Zeilen unverändert).
- Klicken Sie auf die Schaltfläche "Hinzufügen" und fügen Sie eine neue apt-Zeile hinzu. Die Zeile wird auf den verschiedenen Plattformen etwas anders aussehen:

Table 1. Eine tabuläre Übersicht über Varianten des Betriebssystems und die entsprechende Konfiguration des Projektarchivs. Die Konfiguration kann in der GUI des Paketmanagers oder in der Datei `/etc/apt/sources.list` spezifiziert werden.

Betriebssystem / Echtzeitversion	Repository
Debian Bullseye - preempt	deb https://linuxcnc.org bullseye base 2.9-ospace
Debian Bookworm - preempt	deb https://linuxcnc.org bookworm base 2.9-ospace
Debian Bookworm - RTAI	deb https://linuxcnc.org bookworm base 2.9-rt
Debian Trixie - preempt	deb https://linuxcnc.org trixie base 2.9-ospace
Debian Trixie - RTAI	deb https://linuxcnc.org trixie base 2.9-rt

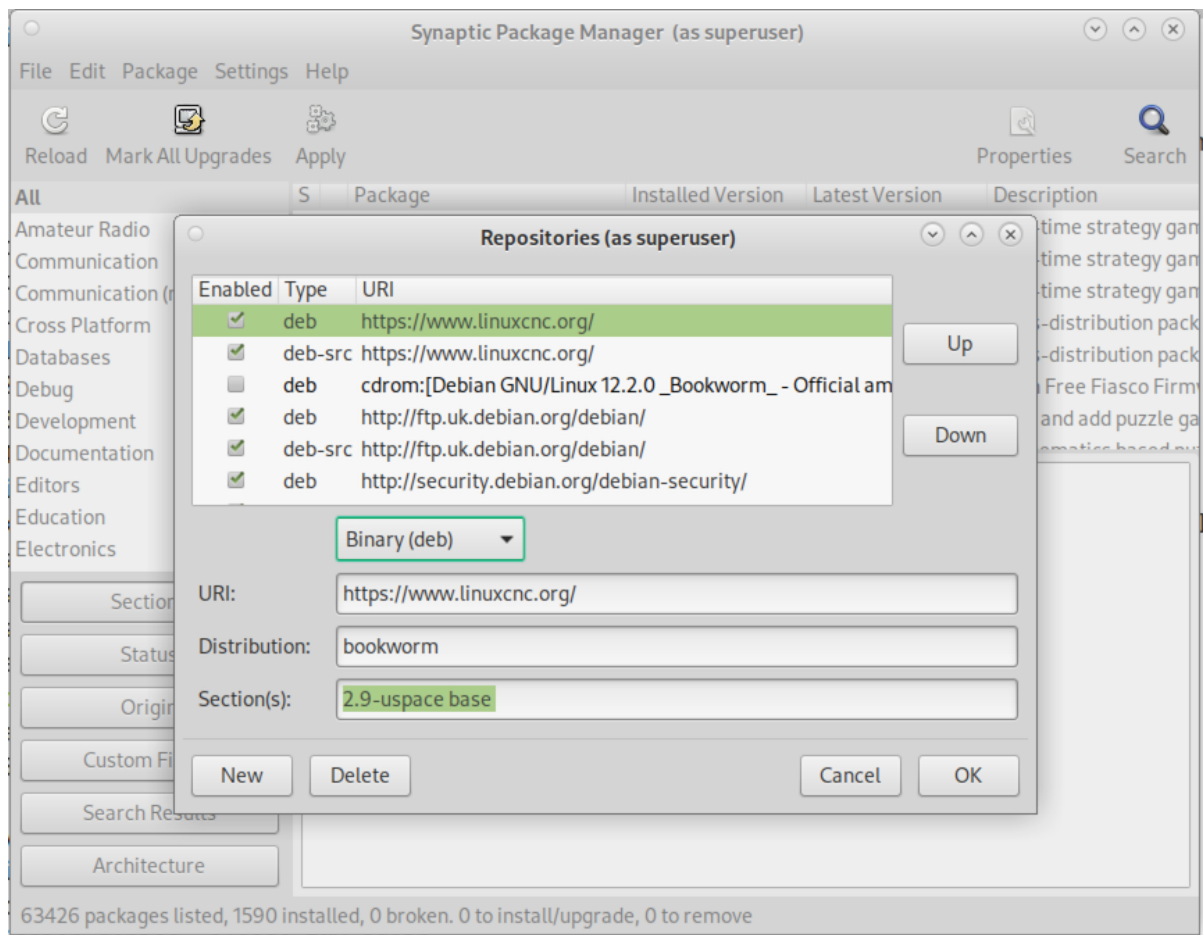


Figure 3. Abbildung mit einem Screenshot der Repository Einstellung für den Synaptic Paket Manager.

- Klicken Sie im Fenster "Softwarequellen" auf "Quelle hinzufügen" und dann auf "Schließen". Wenn ein Fenster angezeigt wird, das Sie darüber informiert, dass die Informationen über die verfügbare Software veraltet sind, klicken Sie auf die Schaltfläche "Neu laden".

5.1.2. Upgrade auf die neue Version

Da Ihr Computer nun weiß, wo er die neue Version der Software erhält, müssen wir sie nun installieren.

Der Prozess unterscheidet sich wiederum je nach Plattform.

Debian Bullseye, Bookworm und Trixie

Debian verwendet den Synaptic Package Manager.

- Öffnen Sie Synaptic gemäß den Anweisungen in [Festlegen der apt sources](#) oben.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche "Neu laden".
- Verwenden Sie die Suchfunktion, um nach **linuxcnc** zu suchen.
- Das Paket heißt „linuxcnc“ für RTAI-Kernel und „linuxcnc-usbace“ für preempt-rt.
- Klicken Sie auf das Kontrollkästchen, um die neuen Pakete linuxcnc und linuxcnc-doc-* für ein Upgrade zu markieren. Der Paketmanager kann eine Reihe zusätzlicher Pakete auswählen, die installiert werden sollen, um die Abhängigkeiten zu erfüllen, die das neue linuxcnc-Paket hat.

- Klicken Sie auf die Schaltfläche "Anwenden", und lassen Sie Ihren Computer das neue Paket installieren. Das alte linuxcnc-Paket wird automatisch auf das neue Paket aktualisiert.

5.1.3. Ubuntu

- Klicken Sie auf das Symbol "Dash Home" oben links.
- Geben Sie in das Feld "Suche" den Begriff "Update" ein und klicken Sie dann auf das Symbol "Update Manager".
- Klicken Sie auf die Schaltfläche "Prüfen", um die Liste der verfügbaren Pakete aufzurufen.
- Klicken Sie auf die Schaltfläche "Updates installieren", um die neuen Versionen aller Pakete zu installieren.

5.2. Aktualisieren ohne Netzwerk

Um ohne Netzwerkverbindung zu aktualisieren, müssen Sie die .deb-Datei herunterladen und mit dpkg installieren. Die .debs können unter <https://linuxcnc.org/dists/> gefunden werden.

Sie müssen im obigen Link nach unten gehen, um das richtige Debian Paket (.deb Datei) für Ihre Installation zu finden. Öffnen Sie ein [Terminal](#) und geben Sie "lsb_release -ic" ein, um den Versions-Bezeichner Ihres Betriebssystems zu finden.

```
> lsb_release -ic
Distributor ID: Debian
Codename:      trixie
```

Wählen Sie das Betriebssystem aus der Liste und dann die gewünschte Hauptversion wie 2.9-rt für RTAI oder 2.9-ospace für preempt-rt.

Wählen Sie als Nächstes den Computertyp aus, den Sie haben: binary-amd64 für 64-Bit-x86 oder binary-arm64 (64-Bit) für Raspberry Pi.

Wählen Sie dann die gewünschte Version am Ende der Liste aus, z.B. *linuxcnc-ospace_2.9.8_amd64.deb* (wählen Sie die neueste Version nach Datum). Laden Sie die deb-Datei herunter und kopieren Sie sie in Ihr Home-Verzeichnis. Sie können die Datei mit dem Dateimanager in etwas kürzeres umbenennen, wie z.B. *linuxcnc_2.9.8.deb*, dann öffnen Sie ein Terminal und installieren es mit dem Paketmanager mit diesem Befehl:

```
sudo dpkg -i linuxcnc_2.9.8.deb
```

5.3. Aktualisieren von Konfigurationsdateien für 2.9

5.3.1. Strikterer Umgang mit austauschbaren Interpretern

Wenn Sie nur normalen G-Code ausführen und nicht wissen, was ein austauschbarer Interpreter ist, wirkt sich dieser Abschnitt nicht auf Sie aus.

Ein selten genutztes Merkmal von LinuxCNC ist die Unterstützung für steckbare Interpreter, die durch die undokumentierte `[TASK]INTERPRETER` INI-Einstellung gesteuert werden.

Versionen von LinuxCNC vor 2.9.0 behandelten eine falsche `[TASK]INTERPRETER`-Einstellung, indem sie automatisch auf die Verwendung des Standard-G-Code-Interpreters zurückgriffen.

Seit 2.9.0 führt ein falscher `[TASK]INTERPRETER`-Wert dazu, dass LinuxCNC den Start verweigert. Beheben Sie diese Bedingung, indem Sie die Einstellung `[TASK]INTERPRETER` aus Ihrer INI-Datei löschen, so dass LinuxCNC den Standard-G-Code-Interpreter verwendet.

5.3.2. Canterp

Wenn Sie nur normalen G-Code ausführen und den austauschbaren Interpreter "canterp" nicht verwenden, hat dieser Abschnitt keine Auswirkungen auf Sie.

Für den extrem unwahrscheinlichen Fall, dass Sie `canterp` verwenden, sollten Sie wissen, dass das Modul von `/usr/lib/libcanterp.so` nach `/usr/lib/linuxcnc/canterp.so` verschoben wurde und die Einstellung `[TASK]INTERPRETER` entsprechend von `libcanterp.so` nach `canterp.so` geändert werden muss.

5.3.3. Spindel-Einschränkungen in der INI

Es ist nun möglich, in den `[SPINDLE]`-Abschnitt der INI-Datei zu konfigurieren

`MAX_VELOCITY = 20000` Die maximale Spindeldrehzahl (in U/min)

`MIN_FORWARD_VELOCITY = 20000` Die minimale Spindeldrehzahl (in U/min)

`MAX_REVERSE_VELOCITY = 20000` Diese Einstellung wird standardmäßig auf `MAX_FORWARD_VELOCITY` gesetzt sofern nicht explizit angegeben.

`MIN_REVERSE_VELOCITY = 3000` Diese Einstellung entspricht `MIN_FORWARD_VELOCITY`, jedoch für die umgekehrte Spindeldrehung. Ist dieser Wert nicht angegeben, wird sie standardmäßig auf `MIN_FORWARD_VELOCITY` gesetzt.

`INCREMENT = 200` Legt die Schrittweite für Befehle zum Erhöhen und Verringern der Spindeldrehzahl fest. Dies kann für jede Spindel einen anderen Wert haben. Diese Einstellung ist bei AXIS und Touchy wirksam, aber beachten Sie, dass einige Kontrollbildschirme die Dinge anders handhaben können.

`HOME_SEARCH_VELOCITY = 100` - Wird akzeptiert, aber ist derzeit ohne Funktion

`HOME_SEQUENCE = 0` - Wird akzeptiert, ist aber derzeit ohne Funktion

5.4. Update von Konfigurationsdateien für 2.10.y

Touchy: Die Touchy-MACRO-Einträge gehören nun in den Abschnitt `[MACROS]` der INI anstelle von `[TOUCHY]`. Dies ist Teil der Vereinheitlichung der INI-Einstellungen zwischen den GUIs.

5.5. Preview renderer now requires OpenGL 3.3 core

The G-code preview shared by AXIS, the GTK screens (Gremlin / gmoccapy / gscreen / GladeVCP `hal_gremlin` / QtPlasmaC), and QtVCP was rewritten to use a single modern OpenGL 3.3 **core-profile** renderer (shaders, VBOs, an offscreen framebuffer for click selection, a glyph-atlas for overlay text). The legacy fixed-function path (display lists, immediate mode, `GL_SELECT` picking, `glBitmap` text, line stipple, `GL_LIGHTING`) has been removed. There is no runtime switch and no in-process fallback.

Hardware requirement. OpenGL 3.3 core is needed. On the supported platform (Linux with Mesa) this is available on Intel Sandy Bridge (2011) and newer, AMD r600 and newer, and nouveau. Machines without a capable GPU can use Mesa's software renderer (llvmpipe), which handles the line-dominated preview acceptably:

```
LIBGL_ALWAYS_SOFTWARE=1 linuxcnc myconfig.ini
```

If a core context cannot be created the GUI exits at start-up with a diagnostic naming the OpenGL 3.3 requirement and suggesting `LIBGL_ALWAYS_SOFTWARE=1`, rather than starting with a blank or corrupt preview.

WARNING

BREAKING: out-of-tree screens that inject raw legacy OpenGL

Custom screens that subclass the in-tree preview classes and **override a drawing internal to emit raw fixed-function OpenGL** (immediate mode, display lists, `glBitmap`, etc.) will fail against a core context. Compatibility is preserved only at the **calling surface**: the public methods and attributes of `rs274.glcanon.GlCanonDraw` / `glnav.GlNavBase` used by the in-tree GUIs keep their names, signatures, and behaviour (`realize`, `redraw`, `redraw_perspective`, `redraw_ortho`, `select`, `set_highlight_line`, `set_canon`, `posstrs`, the `stale_dlist(...)` cache-invalidation entry points, and the `get_*/is_*` callback contract). Move any custom drawing onto those supported entry points, or draw with your own modern-OpenGL code.

The immediate-mode drawing helpers used by the old renderer remain available for compatibility (`linuxcnc.draw_lines`, `linuxcnc.line9`, `linuxcnc.draw_dwells`, `linuxcnc.positionlogger.call()`); they are unused by the in-tree GUIs, which bake geometry to VBOs and upload the backplot from `positionlogger.points()`, but still work for out-of-tree tools under a legacy/compatibility context.

5.5.1. Notes for integrators and driver authors

- **AXIS / Togl.** The vendored Togl widget (`src/emc/usr_intf/axis/extensions/togl.c`) gained a boolean `-coreprofile` option (default `false`). When true it creates the context with `glXChooseFBConfig + glXGetVisualFromFBConfig glXCreateContextAttribsARB` (OpenGL 3.3 core), raising a descriptive Tcl error on failure. AXIS always enables it. The default (false) path is unchanged, so `vismach` and any out-of-tree Togl users keep their legacy contexts.
- **Gremlin (GTK).** GTK3 only hands out core contexts through `GtkGLArea`, so the gremlin widget still builds its context by hand via GLX, now requesting 3.3 core with `glXCreateContextAttribsARB`.

PyOpenGL cannot resolve that extension entry point (it comes back as a null function), so gremlin loads **libGL** directly with **ctypes** and creates **and binds** the context (choose-fbconfig / make-current / swap) through that one handle to avoid mixing context pointers.

- **Line width in core profiles.** A forward-compatible core context (Qt requests one) rejects `glLineWidth(> 1)` with `GL_INVALID_VALUE` even though `GL_ALIASED_LINE_WIDTH_RANGE` reports a larger maximum. The renderer probes the accepted width once and caches it, so thick lines (the selection highlight, dwell markers) degrade to 1 px on such drivers instead of raising; a non-forward-compatible core context (AXIS's Togl, Gremlin's GLX) keeps the wider lines. Thick lines via quad expansion are a possible future improvement.
- **vismach** is unaffected: it keeps its legacy Togl context and immediate-mode drawing; only its camera consumes the (now GL-free) explicit matrices from `glnav`.

5.5.2. How the preview is put together

The drawing itself lives in `lib/python/rs274/glcanon_scene.py`, in four tiers. Nothing here changes what the preview looks like; it is where to start reading if you need to fix or extend one part of it.

- **Parts.** One class per drawing concern - grid, program geometry, extents, bounding box, offsets, small origin, axes, machine-limits box, tool, live backplot, DRO overlay, the `user_plot()` hook. A part draws that one thing and nothing else. Adding a preview element means adding a part and placing it in the scene's order, not editing an existing part.
- **The scene.** `PreviewScene` holds the parts in draw order and runs them. **Visibility is decided by the scene, not the part:** it evaluates each part's `visible(ctx)` and simply does not call a part whose gate is false, so `draw()` may assume it is visible and must not open with an `if not shown: return`. Gates that couple parts belong to the scene too - the extents-versus-bounding-box either/or, and the translucent compositing `program_alpha` wraps the program in.
- **Primitives.** Services several parts share - a line array, a wireframe box, Hershey vector text, the tool-cone mesh - reached as `ctx.prim`. Letters are a primitive that axes, extents and offsets all use, not a sibling of "axes".
- **Passes.** The preview is three sets of depth/blend state, not an arbitrary order: world geometry, translucent geometry drawn over it at equal depth, and the screen-space overlay. Each part declares its `pass_`; the scene sets the state when the pass changes. A part that needs something else for its own drawing (the tool's constant-alpha blend) restores it afterwards.

Transforms go through a scoped model-view stack: `with ctx.mv.push():` restores the previous transform on exit, including when an exception unwinds through it, so a part cannot leak a transform onto a later one. Offsets, small origin and axes share one such scope (`RelativeCoordGroup`), because the axes are drawn in the offset frame the offsets progressively build.

Parts read a `FrameContext` - an explicit, enumerated list of machine, view and renderer state, built once per frame by `GlCanonDraw` - rather than the widget itself. That is what lets them be tested without a window: build a context by hand, call `part.draw(ctx)`, and assert on the vertices it emitted. See `tests/glcanon-scene/`.

Click-to-select is not a part - it draws nothing to the screen. `Picker` renders the **same** program geometry into an offscreen framebuffer with line numbers encoded as colour and resolves the nearest hit;

`GLCanvasDraw.select(x, y)` delegates to it. It shares one `ProgramGeometry` with the drawing part, so the pickable geometry and the drawn geometry cannot drift apart.

Setting `GLCANON_SCENE_DEBUG=1` logs which parts the scene drew and which it skipped whenever that split changes, and reports depth/blend state a part left behind.

5.6. Neue HAL-Komponenten

5.6.1. Nicht-Echtzeit

mdro mqtt-publisher pi500_vfd pmx485-test qtplasmac-cfg2prefs qtplasmac-materials qtplasmac-plasmac2qt qtplasmac-setup sim-torch svd-ps_vfd

5.6.2. Echtzeit

anglejog div2 enum filter_kalman flipflop homecomp limit_axis mesa_uart millturn scaled_s32_sums tof ton

5.7. Neue Treiber

Ein Framework wurde eingeführt zur Steuerung von ModBus-Geräten mit den seriellen Ports auf vielen Mesa-Karten. http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/mesa_modbus.html

Ein neuer GPIO-Treiber für alle GPIO, der von der gpiod-Bibliothek unterstützt wird, ist jetzt enthalten: http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/hal_gpio.html

Chapter 6. Glossar

Eine Auflistung von Begriffen und deren Bedeutung. Einige Begriffe haben eine allgemeine Bedeutung und mehrere zusätzliche Bedeutungen für Benutzer, Installateure und Entwickler.

Acme-Schraube

Eine Art von Gewindespindel, die ein Acme-Gewinde hat. Acme-Gewinde haben eine etwas geringere Reibung und einen geringeren Verschleiß als einfache Dreiecksgewinde, aber Kugelgewindetriebe sind noch günstiger. Die meisten manuellen Werkzeugmaschinen verwenden Trapezgewindespindeln.

Achse

Eines der computergesteuerten beweglichen Teile der Maschine. Bei einer typischen Vertikalfräse ist der Tisch die X-Achse, der Schlitten die Y-Achse und die Pinole oder das Knie die Z-Achse. Winkelachsen wie Drehtische werden als A, B und C bezeichnet. Zusätzliche lineare Achsen in Bezug auf das Werkzeug heißen U, V und W.

AXIS(GUI)

Eine der grafischen Benutzeroberflächen, die den Benutzern von LinuxCNC zur Verfügung stehen. Es verfügt über die moderne Verwendung von Menüs und Maustasten während der Ausführung und versteckt einige der mehr traditionellen LinuxCNC Kontrollen. Es ist die einzige Open-Source-Schnittstelle, die den gesamten Werkzeugpfad zeigt, sobald eine Datei geöffnet wird.

GMOCCAPY (GUI)

Eine grafische Benutzeroberfläche, die den Benutzern von LinuxCNC zur Verfügung steht. Es bietet die Verwendung und das Gefühl einer industriellen Steuerung und kann mit Touchscreen, Maus und Tastatur verwendet werden. Es unterstützt eingebettete Tabs und von HAL ausgelöste Benutzer-Nachrichten, bietet es eine Menge HAL beens mit Hardware gesteuert werden. GMOCCAPY ist in hohem Maße anpassbar.

Umkehrspiel

Das Spiel oder der Bewegungsverlust, engl. backlash, der bei einer Richtungsumkehr in einer Leitspindel oder einem anderen mechanischen Antriebssystem auftritt. Es kann durch lockere Muttern an Leitspindeln, Schlupf in Riemen, Kabeldurchhang, "Aufwickeln" in Drehkupplungen und anderen Stellen entstehen, an denen das mechanische System nicht "dicht" ist. Spiel führt zu ungenauen Bewegungen, oder im Falle von Bewegungen, die durch äußere Kräfte verursacht werden (z. B. Schneidwerkzeug, das am Werkstück zieht), können Schneidwerkzeuge brechen. Dies kann passieren, weil die Spanbelastung des Fräasers plötzlich ansteigt, wenn das Werkstück durch das Schneidwerkzeug über die Spielstrecke gezogen wird.

Umkehrspiel-Kompensation

Jede Technik, mit der versucht wird, die Auswirkungen des Spiels zu verringern, ohne es tatsächlich aus dem mechanischen System zu entfernen. Dies geschieht in der Regel durch Software in der Steuerung. Auf diese Weise kann die endgültige Ruhestellung des Teils während der Bewegung korrigiert werden, aber Probleme im Zusammenhang mit Richtungsänderungen während der Bewegung (z. B. Kreisinterpolation) und Bewegungen, die durch äußere Kräfte (z. B. Ziehen des Schneidwerkzeugs am Werkstück) verursacht werden, sind nicht gelöst.

Kugelumlaufspindel

Eine Art von Gewindespindel, engl. ball screw, bei der zur Verringerung der Reibung kleine gehärtete Stahlkugeln zwischen der Mutter und der Spindel eingesetzt werden. Kugelgewindetriebe haben eine sehr geringe Reibung und ein geringes Spiel, sind aber in der Regel recht teuer.

Kugelmutter

Eine spezielle Mutter, engl. ball nut, die für die Verwendung mit einer Kugelumlaufspindel bestimmt ist. Sie enthält einen internen Durchgang, um die Kugeln von einem Ende der Spindel zum anderen zurückzubefördern.

CNC

Numerische Computersteuerung (Kurzform für engl. Computational Numerical Control). Allgemeiner Begriff, der sich auf die Computersteuerung von Maschinen bezieht. Statt dass ein menschlicher Bediener Kurbeln dreht, um ein Schneidwerkzeug zu bewegen, verwendet CNC einen Computer und Motoren, um das Werkzeug auf der Grundlage einer Teil-Beschreibung zu bewegen.

Halcompile

Ein Werkzeug, das zum Erstellen, Kompilieren und Installieren von LinuxCNC HAL-Komponenten verwendet wird.

Konfiguration(n)

Ein Verzeichnis, das eine Reihe von Konfigurationsdateien enthält. Benutzerdefinierte Konfigurationen sind in der Regel in den Benutzer home/linuxcnc/configs Verzeichnis gespeichert. Diese Dateien enthalten LinuxCNC's traditionelle INI-Datei und HAL-Dateien. Eine Konfiguration kann auch mehrere allgemeine Dateien enthalten, die Werkzeuge, Parameter und NML-Verbindungen beschreiben.

Konfiguration(v)

Die Aufgabe, LinuxCNC so einzustellen, dass es mit der Hardware einer Werkzeugmaschine übereinstimmt.

Koordinatenmessmaschine

Mit einer Koordinatenmessmaschine (engl. coordinate measuring machine) lassen sich viele genaue Messungen an Teilen vornehmen. Diese Maschinen können verwendet werden, um CAD-Daten für Teile zu erstellen, für die keine Zeichnungen vorhanden sind, wenn ein handgefertigter Prototyp für den Formenbau digitalisiert werden muss, oder um die Genauigkeit von maschinell bearbeiteten oder gegossenen Teilen zu überprüfen.

Anzeigeeinheiten

Die linearen und winkligen Einheiten, die für die Anzeige auf dem Bildschirm verwendet werden.

DRO

Eine digitale Positionsanzeige (Abkürzung von engl. Digital Read Out) ist ein System von Positionsmessgeräten, die an den Schlitten einer Werkzeugmaschine angebracht und mit einer numerischen Anzeige verbunden sind, um die aktuelle Position des Werkzeugs im Verhältnis zu einer Referenzposition anzuzeigen. DROs sind bei handgeführten Werkzeugmaschinen sehr beliebt, da sie die tatsächliche Werkzeugposition spielfrei messen, selbst wenn die Maschine sehr lockere Acme-

Schrauben hat. Einige DROs verwenden lineare Quadratur-Drehgeber, um Positionsinformationen von der Maschine zu erhalten, und einige verwenden Methoden, die einem Resolver ähneln, der immer wieder umläuft.

EDM

Die Funkenerosion (engl. EDM) ist ein Verfahren zum Abtragen von Metall in harten oder schwer zu bearbeitenden oder zähen Metallen oder in Fällen, in denen rotierende Werkzeuge nicht in der Lage wären, die gewünschte Form auf kostengünstige Weise herzustellen. Ein hervorragendes Beispiel sind rechteckige Stanzformen, bei denen scharfe Innenecken gewünscht sind. Bei Fräsvorgängen können mit Werkzeugen mit begrenztem Durchmesser keine scharfen Innenecken erzeugt werden. Eine *Drahterodiermaschine* kann Innenecken mit einem Radius herstellen, der nur geringfügig größer als der Radius des Drahtes ist. Eine Senkerodiermaschine kann Innenecken mit einem Radius herstellen, der nur geringfügig größer ist als der Radius an der Ecke der Senkelektrode.

EMC

Der Enhanced Machine Controller (ein Eigenname, wörtlich übersetzt "verbesserte Maschinensteuerung"). Ursprünglich ein NIST-Projekt. Umbenannt in LinuxCNC im Jahr 2012.

EMCIO

Das Modul innerhalb von LinuxCNC, die allgemeine E/A (engl. I/O) handhabt, die nichts mit der eigentlichen Bewegung der Achsen zu tun hat.

EMCMOT

Das Modul innerhalb von LinuxCNC, das die eigentliche Bewegung des Schneidwerkzeugs steuert. Es läuft als Echtzeitprogramm und steuert direkt die Motoren.

Encoder

Ein Gerät zur Messung der Position. Normalerweise ein mechanisch-optisches Gerät, das ein Quadratursignal ausgibt. Das Signal kann durch spezielle Hardware gezählt werden, oder direkt durch den parallelen Port mit LinuxCNC.

Vorschub

Relativ langsame, kontrollierte Bewegung des Werkzeugs bei der Durchführung eines Schnitts.

Vorschubgeschwindigkeit

(engl. feed rate) Die Geschwindigkeit, mit der eine Schnittbewegung erfolgt. Im Auto- oder MDI Modus wird die Vorschubgeschwindigkeit mit einem F-Wort bestimmt. F10 würde zehn Maschineneinheiten pro Minute bedeuten.

Rückmeldung

(engl. feedback) Eine Methode (z.B. Quadratur-Encoder-Signale), durch die LinuxCNC Informationen über die Position von Motoren erhält.

Vorschubgeschwindigkeit-Anpassung (engl. override)

Eine manuelle, vom Bediener gesteuerte Änderung des Vorschubs der Geschwindigkeit, mit der sich das Werkzeug beim Schneiden bewegt. Wird oft verwendet, um dem Bediener die Möglichkeit zu geben, stumpfe Werkzeuge oder andere Dinge, die eine Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit

erfordern, zu korrigieren.

Gleitkommazahl

Eine Zahl, die einen Dezimalpunkt hat, bsw. 12.3. In HAL wird sie (engl.) als Float bezeichnet.

G-Code

Ein generalisierter Begriff für die gebräuchlichste Programmiersprache zur Beschreibung von Werkstücken. Es gibt mehrere Dialekte von G-Code, LinuxCNC verwendet RS274/NGC.

GUI

Grafische Benutzeroberfläche (engl. Graphical User Interface).

Allgemeines

Eine Art von Schnittstelle zur Kommunikation zwischen einem Computer und einem Menschen (in den meisten Fällen) über die Manipulation von Symbolen und anderen Elementen (Widgets) auf einem Computerbildschirm.

LinuxCNC

Eine Anwendung, die dem Maschinenbediener einen grafischen Bildschirm präsentiert zur Bedienung der Maschine und des Steuerungsprogramms.

HAL

Hardware-Abstraktionsschicht, engl. Abkürzung für *hardware abstraction layer*. Auf der höchsten Ebene ist es einfach eine Möglichkeit, eine Reihe von Bausteinen zu laden und miteinander zu verbinden, um ein komplexes System zusammenzustellen. Viele der Bausteine sind Treiber für Hardwaregeräte. HAL kann jedoch mehr als nur Hardwaretreiber konfigurieren.

Pos1

Eine bestimmte Position im Arbeitsbereich der Maschine, engl. home, die verwendet wird, um sicherzustellen, dass der Computer und die tatsächliche Maschine mit der Werkzeugposition übereinstimmen.

INI-Datei

Eine Textdatei mit dem überwiegenden Anteil an Informationen zur Anpassung (Konfiguration) von LinuxCNC an eine bestimmte Maschine.

Instanz

Man kann eine Instanz einer Klasse oder eines bestimmten Objekts haben. Die Instanz ist das eigentliche Objekt, das zur Laufzeit erzeugt wird. Im Programmierer-Jargon ist das Objekt "Lassie" eine Instanz der Klasse "Dog".

Gelenk-Koordinaten

Diese geben die Winkel zwischen den einzelnen Gelenken der Maschine an. Siehe auch Kinematik

Jog (manuelle Bewegung)

Manuelles Bewegen einer Achse einer Maschine. Beim Joggen wird die Achse entweder bei jedem Tastendruck um einen festen Betrag bewegt oder mit einer konstanten Geschwindigkeit, solange Sie

die Taste gedrückt halten. Im manuellen Modus kann die Jog-Geschwindigkeit über die grafische Oberfläche eingestellt werden.

Kernel-Space

Code, der innerhalb des Kernels läuft, im Gegensatz zu Code, der im Userspace läuft. Einige Echtzeitsysteme (wie RTAI) führen Echtzeitcode im Kernel und Nicht-Echtzeitcode im Userspace aus, während andere Echtzeitsysteme (wie Preempt-RT) sowohl Echtzeit- als auch Nicht-Echtzeitcode im Userspace ausführen.

Kinematik

Die Positionsbeziehung zwischen Weltkoordinaten und Gelenkkoordinaten einer Maschine. Es gibt zwei Arten von Kinematik. Die Vorwärtskinematik wird verwendet, um Weltkoordinaten aus Gelenkkoordinaten zu berechnen. Die inverse Kinematik wird für genau den gegenteiligen Zweck verwendet. Beachten Sie, dass die Kinematik die Kräfte, Momente usw. an der Maschine nicht berücksichtigt. Sie dient nur der Positionierung.

Leitspindel

Eine Spindel, die von einem Motor gedreht wird, um einen Tisch oder einen anderen Teil einer Maschine zu bewegen. Gewindespindeln sind in der Regel entweder Kugelgewindespindeln oder Trapezgewindespindeln, obwohl auch herkömmliche dreieckige Gewindespindeln verwendet werden können, wenn Genauigkeit und lange Lebensdauer weniger wichtig sind als niedrige Kosten.

Maschineneinheiten

Die für die Maschinenkonfiguration verwendeten Längen- und Winkleinheiten. Diese Einheiten werden in der INI-Datei angegeben und verwendet. HAL-Pins und -Parameter werden im Allgemeinen ebenfalls in Maschineneinheiten angegeben.

MDI

Manuelle Dateneingabe (engl. Abkürzung für Manual Data Input). Dies ist eine Betriebsart, bei der das Steuergerät einzelne Zeilen des G-Codes ausführt, wie sie vom Bediener eingegeben werden.

NIST

Das US Institut "Nationales Institut für Normung und Technologie" (engl. Abkürzung für National Institute of Standards and Technology). Eine Einrichtung des Handelsministeriums der Vereinigten Staaten.

NML

Die Neutral Message Language bietet einen Mechanismus für die Handhabung mehrerer Nachrichtentypen im selben Puffer sowie eine Vereinfachung der Schnittstelle für die Kodierung und Dekodierung von Puffern im neutralen Format und des Konfigurationsmechanismus.

Versätze

Ein beliebiger Betrag, der zum Wert von etwas hinzugefügt wird, um ihn mit einem gewünschten Wert gleichzusetzen. Zum Beispiel werden G-Code-Programme oft um einen geeigneten Punkt herum geschrieben, wie X0, Y0. Vorrichtungsoffsets können verwendet werden, um den tatsächlichen Ausführungspunkt dieses G-Code-Programms so zu verschieben, dass er mit der tatsächlichen Position des Schraubstocks und der Backen übereinstimmt. Werkzeugkorrekturen können verwendet

werden, um die unkorrigierte Länge eines Werkzeugs so zu verschieben, dass sie der tatsächlichen Länge des Werkzeugs entspricht.

Werkstück Programm

Beschreibung eines Werkstücks in einer Sprache, welche die Steuerung verstehen kann. Für LinuxCNC ist die Sprache RS-274/NGC, allgemein als G-Code bekannt.

Programm-Einheiten

Die in einem Werkstück-Programm verwendeten Längen- und Winkleinheiten. Die linearen Programmeinheiten müssen nicht mit den linearen Maschineneinheiten übereinstimmen. Siehe G20 und G21 für weitere Informationen. Die Winkleinheiten des Programms werden immer in Grad gemessen.

Python

Allzweck-, sehr High-Level-Programmiersprache. Wird in LinuxCNC verwendet für die Axis GUI, das StepConf Konfigurationswerkzeug, und mehrere G-Code-Programmierung Skripte.

Schnell

Schnelle, möglicherweise unpräzise Bewegung des Werkzeugs, die in der Regel für den Wechsel zwischen den Schnitten verwendet wird. Wenn das Werkzeug beim Eilgang auf das Werkstück oder die Vorrichtung trifft, ist das wahrscheinlich schlecht!

Schnellauf-Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der eine Eilgangbewegung erfolgt. Im Auto- oder MDI-Modus ist der Eilgang normalerweise die Höchstgeschwindigkeit der Maschine. Es ist oft wünschenswert, die Eilgeschwindigkeit zu begrenzen, wenn ein G-Code-Programm zum ersten Mal getestet wird.

Echtzeit

Software, die sehr strenge Zeitvorgaben einhalten soll. Um diese Anforderungen zu erfüllen, ist es unter Linux notwendig, einen Echtzeit-Kernel wie RTAI oder Preempt-RT zu installieren und die LinuxCNC-Software so zu erstellen, dass sie in der speziellen Echtzeitumgebung läuft. Echtzeitsoftware kann im Kernel oder im Userspace laufen, abhängig von den Möglichkeiten, die das System bietet.

RTAI

Real Time Application Interface, siehe <https://www.rtai.org/> mit Echtzeit-Erweiterungen für Linux, die LinuxCNC verwenden kann, um Echtzeit-Leistung zu erreichen.

RTLINUX

Siehe <https://en.wikipedia.org/wiki/RTLinux>, eine ältere Echtzeit-Erweiterung für Linux, die von LinuxCNC verwendet wurde, um Echtzeitleistung zu erreichen. Veraltet, ersetzt durch RTAI.

RTAPI

Eine portable Schnittstelle zu Echtzeitbetriebssystemen einschließlich RTAI und POSIX pthreads mit Echtzeit-Erweiterungen.

RS-274/NGC

Der formale Name für die Sprache, die von LinuxCNC-Werkstück-Programmen verwendet wird.

Servomotor

Im Allgemeinen ein Motor, der über Fehlererkennung die Korrektur der Position eines Stellglieds vornimmt. Auch ein Motor, der speziell für eine verbesserte Leistung in solchen Anwendungen ausgelegt ist.

Servo Loop

Engl. für "Schleife", hier ein Regelkreis zur Steuerung der Position oder der Geschwindigkeit eines Motors, der mit einer Rückkopplungseinrichtung ausgestattet ist.

Ganze Zahl mit Vorzeichen

Eine ganze Zahl, die ein positives oder negatives Vorzeichen haben kann. In HAL ist es üblicherweise eine [s32](#), aber könnte auch eine [s64](#) sein.

Spindel

Der Teil einer Werkzeugmaschine, der sich dreht, um den Schnitt auszuführen. Bei einer Fräs- oder Bohrmaschine hält die Spindel das Schneidwerkzeug. Bei einer Drehmaschine hält die Spindel das Werkstück.

Spindeldrehzahl-Anpassung

Eine manuelle, vom Bediener gesteuerte Änderung der Geschwindigkeit, mit der sich das Werkzeug während des Schneidens dreht. Oft verwendet, um dem Bediener zu ermöglichen, für Ratter verursacht durch die cutter's Zähne anzupassen. Spindeldrehzahl Override setzt voraus, dass die LinuxCNC-Software dafür konfiguriert wurde, die Spindeldrehzahl zu steuern.

StepConf

Ein LinuxCNC Konfigurations-Assistent. Es ist in der Lage, viele Schritt-und-Richtung Bewegung Befehl basierte Maschinen zu behandeln. Er schreibt eine vollständige Konfiguration, nachdem der Benutzer ein paar Fragen über den Computer und die LinuxCNC-ausführenden Maschine beantwortet hat.

Schrittmotor

Eine Art von Motor, der sich in festen Schritten dreht. Durch Zählen der Schritte lässt sich feststellen, wie weit sich der Motor gedreht hat. Wenn die Last die Drehmomentkapazität des Motors übersteigt, überspringt er einen oder mehrere Schritte, was zu Positionsfehlern führt.

TASK (engl. für Aufgabe, auch Name des entsprechenden LinuxCNC Moduls)

Das Modul innerhalb von LinuxCNC, das die gesamte Ausführung koordiniert und das Teileprogramm interpretiert.

Tcl/Tk

Eine Skriptsprache und ein grafisches Widget-Toolkit, mit dem mehrere der LinuxCNC-GUIs und Auswahl-Assistenten geschrieben wurden.

Traverse Bewegung

Eine Bewegung in gerader Linie vom Startpunkt zum Endpunkt.

Einheiten

Siehe "Maschineneinheiten", "Anzeigeeinheiten", oder "Programmeinheiten".

Ganzzahl ohne Vorzeichen

Eine ganze Zahl, die kein Vorzeichen hat. In HAL wird sie als [u32](#) gewählt, könnte aber auch eine [u64](#) sein.

Weltkoordinaten

Dies ist der absolute Bezugsrahmen. Es gibt die Koordinaten in Bezug auf einen festen Bezugsrahmen an, der an einem Punkt (im Allgemeinen der Basis) der Werkzeugmaschine befestigt ist.

Chapter 7. Juristischer Abschnitt

Die Übersetzungen dieser Datei im Quellbaum sind nicht rechtsverbindlich.

7.1. Copyright-Bedingungen

Copyright (c) 2000-2022 LinuxCNC.org

Es wird die Erlaubnis erteilt, dieses Dokument unter den Bedingungen der GNU Free Documentation License, Version 1.1 oder einer späteren Version, die von der Free Software Foundation veröffentlicht wurde, zu kopieren, zu verbreiten und/oder zu verändern; ohne unveränderliche Abschnitte, ohne Texte auf der Vorderseite und ohne Texte auf der Rückseite des Umschlags. Eine Kopie der Lizenz ist in dem Abschnitt "GNU Free Documentation License" enthalten.

7.2. GNU Free Documentation License

GNU Free Documentation License Version 1.1, March 2000

Copyright © 2000 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. Es ist jedermann gestattet, wortwörtliche Kopien dieses Lizenzdokuments zu kopieren und zu verbreiten, aber es ist nicht erlaubt, es zu verändern.

0. PREAMBEL

Der Zweck dieser Lizenz ist es, ein Handbuch, ein Lehrbuch oder ein anderes schriftliches Dokument "frei" im Sinne von Freiheit zu machen: jedem die effektive Freiheit zu sichern, es zu kopieren und weiterzugeben, mit oder ohne Modifikation, entweder kommerziell oder nicht-kommerziell. In zweiter Linie bewahrt diese Lizenz dem Autor und dem Herausgeber eine Möglichkeit, Anerkennung für ihre Arbeit zu erhalten, während sie nicht für die von anderen vorgenommenen Änderungen verantwortlich gemacht werden.

Diese Lizenz ist eine Art "Copyleft", was bedeutet, dass abgeleitete Werke des Dokuments selbst im gleichen Sinne frei sein müssen. Sie ergänzt die GNU General Public License, die eine Copyleft-Lizenz für freie Software ist.

Wir haben diese Lizenz entworfen, um sie für Handbücher für freie Software zu verwenden, weil freie Software freie Dokumentation braucht: ein freies Programm sollte mit Handbüchern geliefert werden, welche die gleichen Freiheiten bieten wie die Software. Aber diese Lizenz ist nicht auf Software-Handbücher beschränkt; sie kann für jedes textliche Werk verwendet werden, unabhängig vom Thema oder ob es als gedrucktes Buch veröffentlicht wird. Wir empfehlen diese Lizenz in erster Linie für Werke, deren Zweck die Anleitung oder das Nachschlagen ist.

1. ANWENDBARKEIT UND DEFINITIONEN

Diese Lizenz gilt für jedes Handbuch oder andere Werk, das einen Hinweis des Urheberrechtsinhabers enthält, der besagt, dass es unter den Bedingungen dieser Lizenz verbreitet werden darf. Das "Dokument", unten, bezieht sich auf ein solches Handbuch oder Werk. Jedes Mitglied der Öffentlichkeit ist ein Lizenznehmer und wird als "Sie" angesprochen.

Eine "modifizierte Version" des Dokuments ist jedes Werk, welches das Dokument oder einen Teil davon enthält, entweder wortwörtlich kopiert oder mit Änderungen und/oder in eine andere Sprache übersetzt.

Ein "sekundärer Abschnitt" ist ein benannter Anhang oder ein vorderer Abschnitt des Dokuments, der sich ausschließlich mit der Beziehung der Herausgeber oder Autoren des Dokuments zum Gesamtthema des Dokuments (oder zu verwandten Themen) befasst und nichts enthält, was direkt in dieses Gesamtthema fallen könnte. (Wenn das Dokument zum Beispiel teilweise ein Lehrbuch der Mathematik ist, darf ein sekundärer Abschnitt keine Mathematik erklären). Die Beziehung könnte eine Frage des historischen Zusammenhangs mit dem Thema oder mit verwandten Themen oder der rechtlichen, kommerziellen, philosophischen, ethischen oder politischen Position dazu sein.

Die unveränderlichen Abschnitte" sind bestimmte sekundäre Abschnitte, deren Titel in der Mitteilung, die besagt, dass das Dokument unter dieser Lizenz freigegeben ist, als die der unveränderlichen Abschnitte bezeichnet werden.

Die "Coverttexte" sind bestimmte kurze Textpassagen, die als Front-Cover-Texte oder Back-Cover-Texte in dem Hinweis aufgeführt sind, der besagt, dass das Dokument unter dieser Lizenz freigegeben ist.

Eine "transparente" Kopie des Dokuments ist eine maschinenlesbare Kopie, die in einem Format dargestellt wird, dessen Spezifikation der Allgemeinheit zur Verfügung steht, dessen Inhalt direkt und unkompliziert mit allgemeinen Texteditoren oder (für Bilder, die aus Pixeln bestehen) mit allgemeinen Malprogrammen oder (für Zeichnungen) mit einem weit verbreiteten Zeichnungseditor betrachtet und bearbeitet werden kann, und die für die Eingabe in Textformatierer oder für die automatische Übersetzung in eine Vielzahl von Formaten geeignet ist, die für die Eingabe in Textformatierer geeignet sind. Eine Kopie, die in einem ansonsten transparenten Dateiformat erstellt wurde, dessen Markup so gestaltet wurde, dass eine nachträgliche Änderung durch Leser vereitelt oder erschwert wird, ist nicht transparent. Eine Kopie, die nicht "Transparent" ist, wird als "Opak" bezeichnet.

Geeignete Formate für transparente Kopien sind z. B. ASCII ohne Markup, Texinfo-Eingabeformat, LaTeX-Eingabeformat, SGML oder XML mit einer öffentlich zugänglichen DTD und standardkonformes einfaches HTML, das für die Bearbeitung durch den Menschen ausgelegt ist. Zu den undurchsichtigen Formaten gehören PostScript, PDF, proprietäre Formate, die nur von proprietären Textverarbeitungsprogrammen gelesen und bearbeitet werden können, SGML oder XML, für die eine DTD und/oder die Verarbeitungswerkzeuge nicht allgemein verfügbar sind, und das maschinell erzeugte HTML, das von einigen Textverarbeitungsprogrammen nur zu Ausgabezwecken erzeugt wird.

Die "Titelseite" bedeutet bei einem gedruckten Buch die Titelseite selbst sowie die Folgeseiten, die benötigt werden, um das Material, das nach dieser Lizenz auf der Titelseite erscheinen soll, lesbar zu halten. Für Werke in Formaten, die kein Titelblatt als solches haben, bedeutet "Titelblatt" den Text in der Nähe des auffälligsten Erscheinens des Werktitels, der dem Beginn des Textes vorausgeht.

2. WORTWÖRTLICHES KOPIEREN

Sie dürfen das Dokument in jedem beliebigen Medium kopieren und verbreiten, sei es kommerziell oder nicht kommerziell, vorausgesetzt, dass diese Lizenz, die Urheberrechtsvermerke und der Lizenzvermerk, der besagt, dass diese Lizenz für das Dokument gilt, in allen Kopien wiedergegeben werden, und dass Sie keine weiteren Bedingungen zu denen dieser Lizenz hinzufügen. Sie dürfen keine technischen Maßnahmen anwenden, um das Lesen oder weitere Kopieren der von Ihnen erstellten oder

verbreiteten Kopien zu behindern oder zu kontrollieren. Sie dürfen jedoch eine Vergütung im Austausch für Kopien annehmen. Wenn Sie eine ausreichend große Anzahl von Kopien verbreiten, müssen Sie auch die Bedingungen in Abschnitt 3 einhalten.

Sie können auch Kopien unter den oben genannten Bedingungen ausleihen und öffentlich ausstellen.

3. MASSENHAFTES KOPIEREN

Wenn Sie mehr als 100 gedruckte Exemplare des Dokuments veröffentlichen und der Lizenzhinweis des Dokuments Umschlagtexte verlangt, müssen Sie die Exemplare in Umschläge einlegen, die deutlich und lesbar alle diese Umschlagtexte enthalten: Vorderseitentexte auf dem vorderen Umschlag und Rückseitentexte auf dem hinteren Umschlag. Auf beiden Umschlägen müssen Sie außerdem deutlich und leserlich als Verleger dieser Exemplare ausgewiesen sein. Der vordere Umschlag muss den vollständigen Titel enthalten, wobei alle Wörter des Titels gleichmäßig hervorgehoben und sichtbar sein müssen. Sie können die Umschläge zusätzlich mit anderem Material versehen. Kopien mit Änderungen, die sich auf die Umschläge beschränken, können als wortgetreue Kopien behandelt werden, solange der Titel des Dokuments erhalten bleibt und diese Bedingungen erfüllt sind.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a publicly-accessible computer-network location containing a complete Transparent copy of the Document, free of added material, which the general network-using public has access to download anonymously at no charge using public-standard network protocols. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. VERÄNDERUNGEN

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

1. Verwenden Sie auf der Titelseite (und auf den Umschlägen, falls vorhanden) einen Titel, der sich von dem des Dokuments und von denen früherer Versionen unterscheidet (die, falls es welche gab, im Abschnitt "Historie" des Dokuments aufgeführt sein sollten). Sie können denselben Titel wie eine frühere Version verwenden, wenn der ursprüngliche Herausgeber dieser Version seine Zustimmung gibt. B. Führen Sie auf der Titelseite als Autoren eine oder mehrere Personen oder Organisationen auf, die für die Urheberschaft der Änderungen in der geänderten Version verantwortlich sind, zusammen mit mindestens fünf der Hauptautoren des Dokuments (alle seine Hauptautoren, wenn es

weniger als fünf hat). C. Geben Sie auf der Titelseite den Namen des Herausgebers der geänderten Version als Herausgeber an. D. Behalten Sie alle Urheberrechtsvermerke des Dokuments bei. E. Fügen Sie einen angemessenen Urheberrechtsvermerk für Ihre Änderungen neben den anderen Urheberrechtsvermerken ein. F. Fügen Sie unmittelbar nach den Urheberrechtsvermerken einen Lizenzhinweis ein, welcher der Öffentlichkeit die Erlaubnis gibt, die modifizierte Version unter den Bedingungen dieser Lizenz zu benutzen, und zwar in der Form, die im Anhang unten gezeigt wird. G. Behalten Sie in diesem Lizenzhinweis die vollständigen Listen der unveränderlichen Abschnitte und der erforderlichen Umschlagtexte bei, die im Lizenzhinweis des Dokuments angegeben sind. H. Fügen Sie eine unveränderte Kopie dieser Lizenz bei. I. Behalten Sie den Abschnitt mit dem Titel "Geschichte" und seinen Titel bei und fügen Sie ihm einen Punkt hinzu, der mindestens den Titel, das Jahr, die neuen Autoren und den Herausgeber der modifizierten Version angibt, wie auf der Titelseite angegeben. Wenn es keinen Abschnitt mit dem Titel "Geschichte" in dem Dokument gibt, erstellen Sie einen, der den Titel, das Jahr, die Autoren und den Herausgeber des Dokuments angibt, wie auf der Titelseite angegeben, und fügen Sie dann einen Punkt hinzu, der die geänderte Version beschreibt, wie im vorherigen Satz angegeben. J. Bewahren Sie den im Dokument angegebenen Netzwerkstandort, falls vorhanden, für den öffentlichen Zugang zu einer transparenten Kopie des Dokuments auf, und ebenso die im Dokument angegebenen Netzwerkstandorte für frühere Versionen, auf denen es basierte. Diese können im Abschnitt "Historie" abgelegt werden. Sie können eine Netzwerkadresse für ein Werk weglassen, das mindestens vier Jahre vor dem Dokument selbst veröffentlicht wurde, oder wenn der ursprüngliche Herausgeber der Version, auf die es sich bezieht, die Erlaubnis gibt. K. In jedem Abschnitt, der mit "Danksagungen" oder "Widmungen" betitelt ist, bewahren Sie den Titel des Abschnitts, und bewahren Sie in dem Abschnitt den gesamten Inhalt und Ton der Danksagungen und/oder Widmungen, die darin enthalten sind. L. Bewahren Sie alle unveränderlichen Abschnitte des Dokuments, unverändert in ihrem Text und in ihren Titeln. Abschnittsnummern oder das Äquivalent werden nicht als Teil der Abschnittstitel betrachtet. M. Streichen Sie jeden Abschnitt mit der Überschrift "Vermerke". Ein solcher Abschnitt darf nicht in die geänderte Fassung aufgenommen werden. N. Vorhandene Abschnitte dürfen nicht in "Vermerke" umbenannt werden oder im Titel mit einem unveränderlichen Abschnitt kollidieren.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections entitled "History" in the various original documents, forming one section entitled "History"; likewise combine any sections entitled "Acknowledgements", and any sections entitled "Dedications". You must delete all sections entitled "Endorsements."

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, does not as a whole count as a Modified Version of the Document, provided no compilation copyright is claimed for the compilation. Such a compilation is called an "aggregate", and this License does not apply to the other self-contained works thus compiled with the Document, on account of their being thus compiled, if they are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one quarter of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that surround only the Document within the aggregate. Otherwise they must appear on covers around the whole aggregate.

8. ÜBERSETZUNG

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License provided that you also include the original English version of this License. In case of a

disagreement between the translation and the original English version of this License, the original English version will prevail.

9. TERMINIERUNG

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. ZUKÜNFTIGE ÜBERARBEITUNGEN DIESER LIZENZ

Die Free Software Foundation kann von Zeit zu Zeit neue, überarbeitete Versionen der GNU Free Documentation License veröffentlichen. Solche neuen Versionen werden im Geiste der gegenwärtigen Version ähnlich sein, können sich aber im Detail unterscheiden, um neue Probleme oder Anliegen zu behandeln. Siehe <https://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

ADDENDUM: Wie diese Lizenz für Ihre Dokumente anzuwenden ist

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME. Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation; with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

If you have no Invariant Sections, write "with no Invariant Sections" instead of saying which ones are invariant. If you have no Front-Cover Texts, write "no Front-Cover Texts" instead of "Front-Cover Texts being LIST"; likewise for Back-Cover Texts.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.