# Inhaltsverzeichnis

**1 About LinuxCNC** **1**
1.1 Die Software . . . 1
1.2 Das Betriebssystem . . . 1
1.3 Getting Help . . . 2
1.3.1 Web-Forum . . . 2
1.3.2 IRC . . . 2
1.3.3 Mailingliste . . . 2
1.3.4 LinuxCNC-Wiki . . . 3
1.3.5 Fehlerberichte . . . 3

**2 System Requirements** **4**
2.1 Mindestanforderungen . . . 4
2.2 Kernel- und Versionsanforderungen . . . 4
2.2.1 Preempt-RT mit dem Paket *linuxcnc-uspace* . . . 5
2.2.2 RTAI mit *linuxcnc*-Paket . . . 5
2.2.3 Xenomai mit *linuxcnc-uspace* Paket . . . 5
2.2.4 RTAI mit *linuxcnc-uspace*-Paket . . . 5
2.3 Problematische Hardware . . . 5
2.3.1 Laptops . . . 5
2.3.2 Videokarten . . . 6

**3 Getting LinuxCNC** **7**
3.1 Das Festplattenabbild (engl. kurz image) herunterladen . . . 7
3.1.1 Normales Herunterladen . . . 7
3.1.2 Herunterladen mit zsync . . . 8
3.1.3 Überprüfen des Abbilds . . . 8
3.2 Schreiben des Abbilds auf ein bootfähiges Gerät . . . 9
3.2.1 Raspberry Pi Image . . . 9
3.2.2 AMD-64 (x86-64, PC) Image using GUI tools . . . 9
3.2.3 Command line - Linux . . . 9

3.2.4 Command line - MacOS . . . 9
3.3 Testen von LinuxCNC . . . 10
3.4 LinuxCNC installieren . . . 11
3.5 Updates to LinuxCNC . . . 11
3.6 Install Problems . . . 11
3.7 Alternate Install Methods . . . 11
3.7.1 Installing on Debian Trixie (with Preempt-RT kernel) . . . 12
3.7.2 Installing on Debian Trixie (with experimental RTAI kernel) . . . 13
3.7.3 Installing on Raspbian 12 . . . 13

**4 Running LinuxCNC** **14**
4.1 Aufrufen von LinuxCNC . . . 14
4.2 Configuration Launcher . . . 14
4.3 Nächste Schritte für die Konfiguration . . . 17
4.4 Simulator-Konfigurationen . . . 17
4.5 Konfigurationsressourcen . . . 17

**5 Updating LinuxCNC** **19**
5.1 Upgrade auf die neue Version . . . 19
5.1.1 Apt Sources Konfiguration . . . 20
5.1.2 Upgrade auf die neue Version . . . 21
5.1.2.1 Debian Bullseye, Bookworm and Trixie . . . 22
5.1.3 Ubuntu . . . 22
5.2 Aktualisieren ohne Netzwerk . . . 22
5.3 Updating Configuration Files for 2.9 . . . 23
5.3.1 Stricter handling of pluggable interpreters . . . 23
5.3.2 Canterp . . . 23
5.3.3 Spindle limits in the INI . . . 23
5.4 New HAL components . . . 23
5.4.1 Non-Realtime . . . 23
5.4.2 Echtzeit . . . 24
5.5 New Drivers . . . 24

**6 Glossar** **25**

**7 Juristischer Abschnitt** **31**
7.1 Copyright-Bedingungen . . . 31
7.2 GNU Free Documentation License . . . 31

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 © 2000-2020 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.

# Kapitel 1

# About LinuxCNC

## 1.1 Die Software

* LinuxCNC (Enhanced Machine Control) ist ein Softwaresystem zur Computersteuerung von Werkzeugmaschinen wie Fräs- und Drehmaschinen, Robotern wie Puma und Scara und anderen computergesteuerten Maschinen mit bis zu 9 Achsen. * LinuxCNC ist freie Software mit offenem Quellcode. Aktuelle Versionen von LinuxCNC sind vollständig unter der GNU General Public License und Lesser GNU General Public License (GPL und LGPL) lizenziert * LinuxCNC bietet: **easy discovery and testing without installation with the Live Image** easy installation from the Live Image **benutzerfreundliche grafische Konfigurationsassistenten zum schnellen Erstellen einer maschinenspezifischen Konfiguration** direkt verfügbar als reguläre Pakete in den letzten Veröffentlichungen von Debian (seit Bookworm) und Ubuntu (seit Kinetic Kudu) **eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) (es stehen sogar mehrere GUIs zur Auswahl)** graphical interface creation tools (Glade, QT) **ein Interpreter für *G-Code* (die Programmiersprache für RS-274-Werkzeugmaschinen)** ein System zur Bewegungsplanung in Echtzeit mit Vorausschau **Betrieb von Low-Level-Maschinenelektroni 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 * Es bietet keine Zeichnungsfunktionen (CAD - Computer Aided Design) oder G-Code-Generierung aus der Zeichnung (CAM - Computer Automated Manufacturing). * It can make coordinated moves with up to 9 axes and up to 16 extra axes can be controlled individually. * It supports a variety of hardware interfaces. * Die Steuerung kann echte Servos (analog oder PWM) mit der Feedback-Schleife durch die LinuxCNC-Software auf dem Computer, oder Open-Loop mit Schritt-Servos oder Schrittmotoren betreiben. * 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. * Unterstützung für nicht-kartesische Bewegungssysteme wird über benutzerdefinierte Kinematikmodule bereitgestellt. Zu den verfügbaren Architekturen gehören Hexapoden (Stewart-Plattformen und ähnliche Konzepte) und Systeme mit Drehgelenken für die Bewegung wie PUMA- oder SCARA-Roboter. * LinuxCNC läuft auf Linux mit Echtzeit-Erweiterungen.

## 1.2 Das Betriebssystem

LinuxCNC is available as ready-to-use packages for Debian distributions.

## 1.3 Getting Help

### 1.3.1 Web-Forum

Ein Webforum finden Sie unter https://forum.linuxcnc.org oder über den Link oben auf der Homepage von linuxcnc.org.

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, in den IRC zu gelangen, ist die Verwendung des eingebetteten Clients auf dieser Seite.

**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 lösen kann.
- Haben Sie etwas Geduld, wenn Sie auf eine Antwort warten, denn 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:

- *For text*: https://pastebin.com/, http://pastie.org/, https://gist.github.com/
- *For pictures*: https://imagebin.org/, https://imgur.com/, https://bayimg.com/
- *For files*: 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 LinuxCNC-Wiki

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

Die von den Benutzern gepflegte LinuxCNC Wiki Seite enthält eine Fülle von Informationen und Tipps: http://wiki.linuxcnc.org

### 1.3.5 Fehlerberichte

Report bugs on the LinuxCNC Github github bug tracker.

# Kapitel 2

# System Requirements

## 2.1 Mindestanforderungen

The minimum system to run LinuxCNC and Debian / Ubuntu may vary depending on the exact usage. Stepper systems in general require faster threads to generate step pulses than servo systems. You can use the Live CD to test the software before committing to a permanent installation on a computer. Keep in mind that the Latency Test numbers are more important than the processor speed for software step generation. More information on the Latency Test is here. In addition LinuxCNC needs to be run on an operating system that uses a specially modified kernel, see 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 processor or Raspberry Pi 4 or better.
- 512 MB of RAM, 4 GB with GUI to avoid surprises
- No hard disk for Live CD, 8 GB or more for permanent installation
- Graphics card capable of at least 1024x768 resolution, which is not using the NVidia or ATI fglrx proprietary drivers. Modern onboard graphic chipsets seem to generally be OK.
- Internet connection (not strictly needed, but very useful for updates and for communicating with the LinuxCNC community)

Minimum hardware requirements change as Linux distributions evolve so check the Debian web site for details on the Live CD you’re using. Older hardware may benefit from selecting an older version of the Live CD when available.

If you plan not to rely on the distribution of readily executable programs (”binaries”) but aim at contributing to the source tree of LinuxCNC, then there is a good chance you want a second computer to perform the compilation. Even though LinuxCNC and your developments could likely be executed at the same time with respect to disk space, RAM and even CPU speed, a machine that is busy will have worse latencies, so you are unlikely to compile your source tree and produce chips at the same time.

## 2.2 Kernel- und Versionsanforderungen

LinuxCNC requires a kernel modified for realtime use to control real machine hardware. It can, however run on a standard kernel in simulation mode for purposes such as checking G-code, testing config

files and learning the system. To work with these kernel versions there are two versions of LinuxCNC distributed. The package names are ”linuxcnc” and ”linuxcnc-uspace”.

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 ”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.

### 2.2.1 Preempt-RT mit dem Paket *linuxcnc-uspace*

Preempt-RT is the newest of the realtime systems, and is also the version that is closest to a mainline kernel. Preempt-RT kernels are available as precompiled packages from the main repositories. The search term ”PREEMPT_RT” will find them, and one can be downloaded and installed just like any other package. Preempt-RT will generally have the best driver support and is the only option for systems using the Mesa ethernet-connected hardware driver cards. In general preempt-rt has the worst latency of the available systems, but there are exceptions.

### 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-uspace* 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-uspace*-Paket

It is also possible to run LinuxCNC with RTAI in user-space mode. As with Xenomai you will need to compile from source to do this.

## 2.3 Problematische Hardware

### 2.3.1 Laptops

Laptops are not generally suited to real time software step generation. Again a Latency Test run for an extended time will give you the info you need to determine suitability.

### 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.

# Kapitel 3

# Getting LinuxCNC

This section describes the recommended way to download and make a fresh install of LinuxCNC. There are also Alternate Install Methods for the adventurous. If you have an existing install that you want to upgrade, go to the Updating LinuxCNC section instead.

---

**Anmerkung**
To operate machinery LinuxCNC requires a special kernel with real-time extensions. There are three possibilities here: preempt-rt, RTAI or Xenomai. In addition there are two versions of LinuxCNC which work with these kernels. See the table below for details. However for code testing and simulation it is possible to run the linuxcnc-uspace application on a stock kernel.

---

Fresh installs of LinuxCNC are most easily created using the Live/Install Image. This is a hybrid ISO filesystem image that can be written to a USB storage device or a DVD and used to boot a computer. At boot time you will be given a choice of booting the ”Live” system (to run LinuxCNC without making any permanent changes to your computer) or booting the Installer (to install LinuxCNC and its operating system onto your computer’s hard drive).

Der Prozesses 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 (engl. kurz image) herunterladen

This section describes some methods for downloading the Live/Install image.

### 3.1.1 Normales Herunterladen

Software for LinuxCNC to download is presented on the project’s Downloads page. Most users will aim for the disk image for Intel/AMD PCs, the URL will resemble https://www.linuxcnc.org/iso/linuxcnc_2.9.8-amd64.hybrid.iso.

For the Raspberry Pi, multiple images are provided to address differences between the RPi4 and RPi5.

**Anmerkung**
Do not use the regular Raspbian distribution for LinuxCNC that may have shipped with your RPi starter kit - that will not have the real-time kernel and you cannot migrate from Raspbian to Debian's kernel image.

### 3.1.2 Herunterladen mit zsync

zsync is a download application that efficiently resumes interrupted downloads and efficiently transfers large files with small modifications (if you have an older local copy). Use zsync if you have trouble downloading the image using the Normal Download method.

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 die Iso auf Ihren Computer herunterzuladen

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

**zsync unter Windows** There is a Windows port of zsync. It works as a console application and can be downloaded from https://www.assembla.com/spaces/zsync-windows/documents .

### 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 Bildes, 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 Sie md5sum auf Windows oder Mac** Windows does not come with an md5sum program, but there are alternatives. More information can be found at: How To MD5SUM

## 3.2 Schreiben des Abbilds auf ein bootfähiges Gerät

The LinuxCNC Live/Install ISO Image is a hybrid ISO image which can be written directly to a USB storage device (flash drive) or a DVD and used to boot a computer. The image is too large to fit on a CD.

### 3.2.1 Raspberry Pi Image

The Raspbery Pi image is a complete SD card image and should be written to an SD card with the [Raspberry Pi Imager App](https://www.raspberrypi.com/software/). Note that the imager app can open the .zip file directly, no need to expand.

### 3.2.2 AMD-64 (x86-64, PC) Image using GUI tools

Download and install [Balena Etcher](https://etcher.balena.io/#download-etcher) (Linux, Windows, Mac) and write the downloaded image to a USB drive.

If your image fails to boot then please also try Rufus. It looks more complicated but seems to be more compatible with various BIOSes.

### 3.2.3 Command line - Linux

1. Schließen Sie ein USB-Speichergerät an (z. B. ein Flash-Laufwerk oder ein Gerät vom Typ Thumb Drive).
2. Determine the device file corresponding to the USB flash drive. This information can be found in the output of `sudo dmesg` after connecting the device. `cat /proc/partitions` may also be helpful.
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 Command line - 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. unmount the USB. The number found above should be substitued in place of the N

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

4. Transfer the data with dd, as for Linux above. Note that the disk name has an added ”r” at the begining

```
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. Laden Sie Infra Recorder, ein kostenloses und quelloffenes Bildbrennprogramm, herunter und installieren Sie es: http://infrarecorder.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. Open Infra Recorder, and select the *Actions* menu, then *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 Testen von LinuxCNC

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.

**Anmerkung**
If the system does not boot from the DVD or USB stick, it may be necessary to change the boot order in the PC BIOS.

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-Schrittimpulsen geeignet ist, führen Sie den Latenztest wie folgt aus: here.

At the time of writing the Live Image is only available with the preempt-rt kernel and a matching LinuxCNC. On some hardware this might not offer good enough latency. There is an experimental version available using the RTAI realtime kernel which will often give better latency.

## 3.4 LinuxCNC installieren

To install LinuxCNC from the Live CD select *Install (Graphical)* at bootup.

## 3.5 Updates to 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.



**Warnung**
Aktualisieren Sie das Betriebssystem nicht, wenn Sie dazu aufgefordert werden. Sie sollten jedoch Betriebssystem *Aktualisierungen* akzeptieren, insbesondere Sicherheitsaktualisierungen.

## 3.6 Install Problems

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 Alternate Install Methods

The easiest, preferred way to install LinuxCNC is to use the Live/Install Image as described above. That method is as simple and reliable as we can make it, and is suitable for novice users and experienced users alike. However, this will typically replace any existing operating system. If you have files on the target PC that you want to keep, then use one of the methods described in this section.

Zusätzlich werden für erfahrene Benutzer, die mit der Debian-Systemadministration vertraut sind (Installations-Images finden, apt-Quellen manipulieren, Kernel-Flavors ändern usw.), Neuinstallationen auf den folgenden Plattformen unterstützt: (”amd64” bedeutet ”64-bit” und ist nicht spezifisch für AMD-Prozessoren, es läuft auf jedem 64-bit x86-System)

| **Debian Trixie** | **amd64 & arm64** | **preempt-rt** | **linuxcnc-uspace** | **Maschinensteuerung und -simulation** |
|---|---|---|---|---|
| Debian Troxie | amd64 | RTAI | linuxcnc | machine control |
| Distribution | Architektur | Kernel | Paket-Name | Typische Verwendung |
| Debian Bookworm | amd64 & arm64 | preempt-rt | linuxcnc-uspace | Maschinensteuerung und -simulation |
| Debian Bookworm | amd64 | RTAI | linuxcnc | machine control |
| Debian Bullseye | amd64 | preempt-rt | linuxcnc-uspace | Maschinensteuerung und -simulation |
| Jede (engl. any) | Jede (engl. any) | LinuxCNC direkt nach der Installation | linuxcnc-uspace | simulation ONLY |

**Anmerkung**
LinuxCNC v2.9 is not supported on Debian 9 or older.

**Preempt-RT-Kernel** The Preempt-rt kernels are available for Debian from the regular debian.org archive. The package is called `linux-image-rt-*`. Simply install the package in the same way as any other package from the Synaptic Package manager or with apt-get at the command-line.

**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 and the RTAI kernel are now only available for 64-bit OSes but there are very few surviving systems that can not run a 64-bit OS.

### 3.7.1 Installing on Debian Trixie (with Preempt-RT kernel)

1. Install Debian Trixie (Debian 13), amd64 version. You can download the installer here: https://www.debi distrib/
2. After burning the iso and booting up if you don't want Gnome desktop select *Advanced Options > Alternative desktop environments* and pick the one you like. Then select *Install* or *Graphical Install*.



**Warnung**
Geben Sie kein root-Passwort ein, da sonst sudo deaktiviert ist und Sie die folgenden Schritte nicht ausführen 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
```

**Anmerkung**
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.

1. Install the Preempt-RT kernel and modules

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

2. Re-boot, and select the Linux 6.1.0-10-rt-amd64 kernel. The exact kernel version might be different, look for the "-rt" suffix. This might be hidden in the "Advanced options for Debian Bookworm" sub-menu in Grub. When you log in, verify that `PREEMPT RT` is reported by the following command.

```
uname -v
```

3. Öffnen Sie Menü Anwendungen > System > Synaptic Package Manager, suchen Sie nach *linux-image* und klicken Sie 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.
4. Add the LinuxCNC Archive Signing Key to your apt keyring by downloading [the LinuxCNC installer script](https://www.linuxcnc.org/linuxcnc-install.sh) You will need to make the script executable to run it:

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

Then you can run the installer:

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

### 3.7.2 Installing on Debian Trixie (with experimental RTAI kernel)

1. This kernel and LinuxCNC version can be installed on top of the Live DVD install, or alternatively on a fresh Install of Debian Trixie 64-bit as described above.
2. You can add the LinuxCNC Archive signing key and repository information by downloading and running the installer script as decribed above. If an RTAI kernel is detected it will stop before installing any packages.
3. Aktualisieren Sie die Paketliste von linuxcnc.org

```
sudo apt-get update
```

4. Remove the existing uspace version of LinuxCNC and install the new realtime kernel, RTAI and the rtai version of linuxcnc.

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

Reboot the machine, ensuring that the system boots from the new 5.4.258-rtai kernel.

### 3.7.3 Installing on Raspbian 12

Don’t do that. The latencies are too bad with the default kernel and the PREEMPT_RT (the RT is important) kernel of Debian does not boot on the Pi (as of 1/2024). Please refer to the images provided on this web site.

# Kapitel 4

# Running LinuxCNC

## 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 Configuration Launcher

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

Im Dialogfeld ”Konfigurationsauswahl” kann der Benutzer eine seiner vorhandenen Konfigurationen (Meine Konfigurationen) oder eine neue Konfiguration (aus den Beispielkonfigurationen) 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.
- *Beispielkonfigurationen* - Beispielkonfigurationen werden, wenn ausgewählt, nach linuxcnc/configs kopiert. Sobald eine Beispielkonfiguration 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 (no longer maintained ???)
- *gmoccapy* - Touchscreen-GUI
- *gscreen* - Touchscreen-GUI
- *pyvcp_demo* - Python Virtual Control Panel
- *qtaxis* - Touch Screen GUI, axis lookalike
- *qtdragon* - Touch Screen GUI
- *qtdragon_hd* - Touch Screen GUI, high definition
- *qtplasmac* - Touch Screen GUI, for plasma tables
- *qttouchy* - Touch Screen GUI
- *tklinuxcnc* - Keyboard and Mouse GUI (no longer maintained)
- *touchy* - Touchscreen-GUI
- *woodpecker* - Touch Screen GUI A GUI configuration directory may contain subdirectories with configurations that illustrate special situations or the embedding of other applications.

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.

The *apps items* are typically either:

1. utilities that don’t require starting linuxcnc

2. demonstrations of applications that can be used with linuxcnc

- info - erstellt eine Datei mit Systeminformationen, die für die Problemdiagnose nützlich sein können.
- gladevcp - Beispiele für GladeVCP-Anwendungen.
- halrun - Startet halrun in einem Terminal.
- latency - Anwendungen zur Untersuchung der Latenz
  - latency-histogram-1 - histogram for single servo thread
  - latency-histogram - Histogram
  - 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

---

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

---

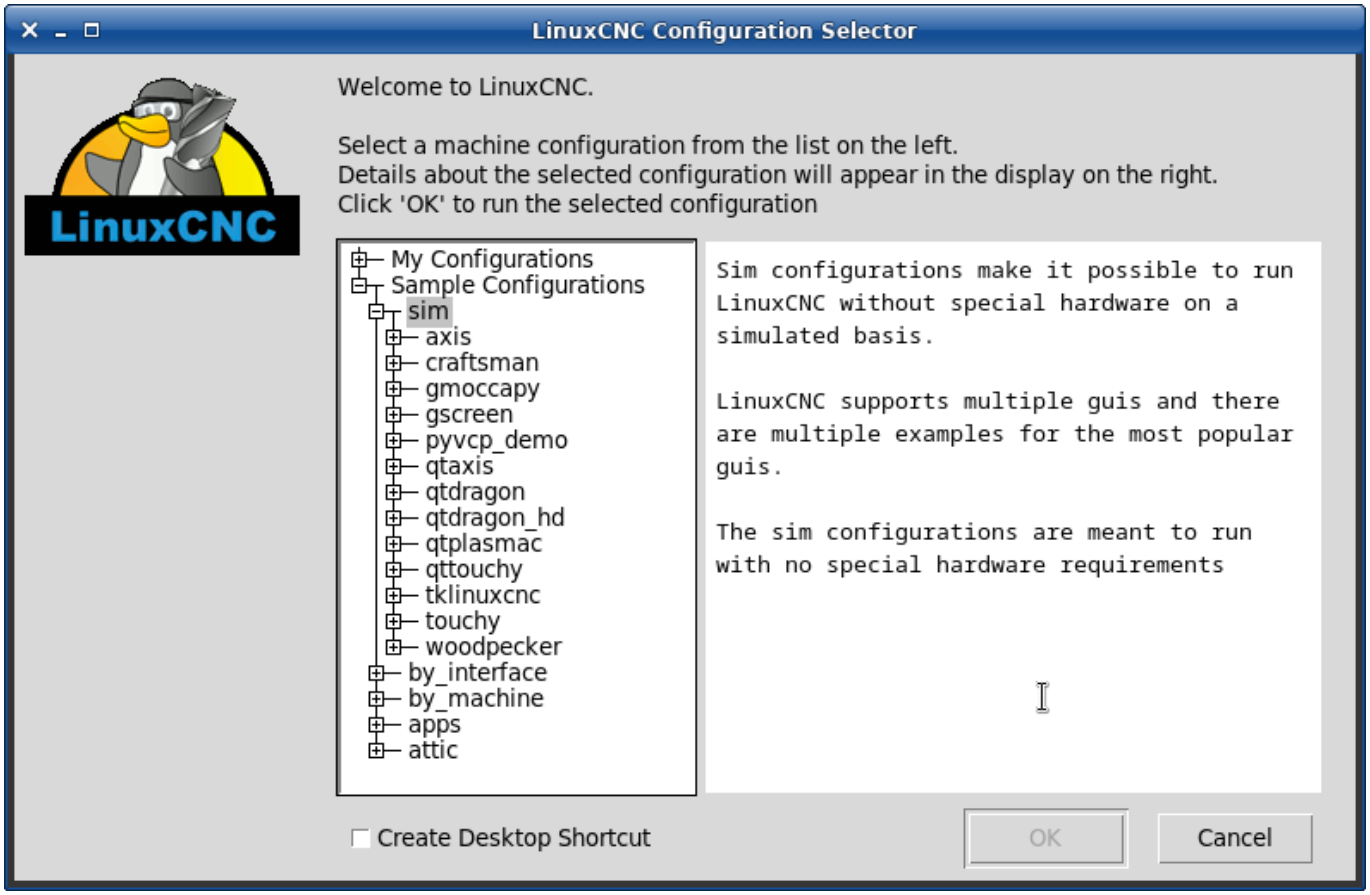



Abbildung 4.1: LinuxCNC-Konfigurationsauswahl

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.

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
```

# Kapitel 5

# Updating LinuxCNC

Updating LinuxCNC to a new minor release (ie to a new version in the same stable series, for example from 2.9.7 to 2.9.8) is an automatic process if your PC is connected to the internet. You will see an update prompt after a minor release along with other software updates. If you don't have an internet connection to your PC see Updating without Network.

## 5.1 Upgrade auf die neue Version

This section describes how to upgrade LinuxCNC from version 2.8.x to a 2.9.y version. It assumes that you have an existing 2.8 install that you want to update.

To upgrade LinuxCNC from a version older than 2.8, you have to first upgrade your old install to 2.8, then follow these instructions to upgrade to the new version.

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.

Furthermore, if you are running Ubuntu Precise, Debian Wheezy or Debian Buster it is well worth considering making a backup of the "linuxcnc" directory on removable media and performing a clean install of a newer OS and LinuxCNC version as these releases were EOL in 2017, 2018 and 2022 respectively. If you are running on Ubuntu Lucid then you will have to do this, as Lucid is no longer supported by LinuxCNC (it was EOL in 2013).

To upgrade major versions like 2.8 to 2.9 when you have a network connection at the machine you need to disable the old linuxcnc.org apt sources in the file /etc/apt/sources.list and add a new linuxcnc.org apt source for 2.9, then upgrade LinuxCNC.

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
```

You should be running on Debian Bullseye, Bookworm or Trixie or Ubuntu 20.04 "Focal Fossa" or newer. LinuxCNC 2.9.y will not run on older distributions than these.

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

If you see -rtai- in the kernel name then you are running RTAI realtime. See below for the LinuxCNC version to install. RTAI packages are available for Bookworm and Buster but not currently for Bullseye.

### 5.1.1 Apt Sources Konfiguration

- Open the Software Sources window. The process for doing this differs slightly on the three supported platforms:
  - Debian:
    - Click on Applications Menu, then System, then 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:

Tabelle 5.1: Tabular overview on variants of the Operating System and the corresponding configuration of the repository. The configuration can be performed in the GUI of the package manager or in the file /etc/apt/sources.list.

| **OS / Realtime Version** | **Repository** |
|---|---|
| Debian Bullseye - preempt | deb https://linuxcnc.org bullseye base 2.9-uspace |
| Debian Bookworm - preempt | deb https://linuxcnc.org bookworm base 2.9-uspace |
| Debian Bookworm - RTAI | deb https://linuxcnc.org bookworm base 2.9-rt |
| Debian Trixie - preempt | deb https://linuxcnc.org trixie base 2.9-uspace |
| Debian Trixie - RTAI | deb https://linuxcnc.org trixie base 2.9-rt |

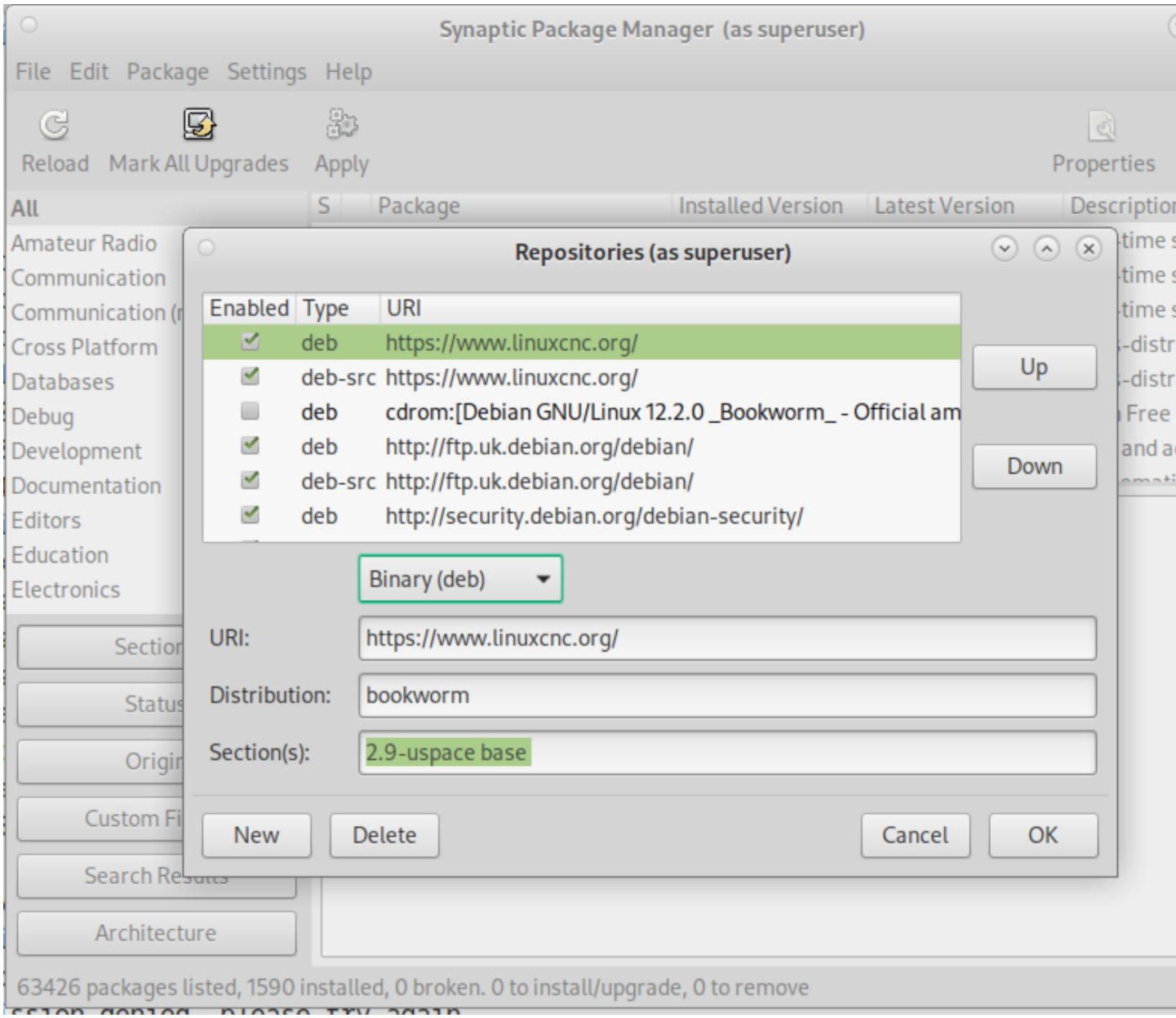



Abbildung 5.1: Figure with a screenshot of the repository configuration of the synaptic package manager.

- 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.

#### 5.1.2.1 Debian Bullseye, Bookworm and Trixie

Debian uses the 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-uspace“ für preempt-rt.
- Click the check box to mark the new linuxcnc and linuxcnc-doc-* packages for upgrade. The package manager may select a number of additional packages to be installed, to satisfy dependencies that the new linuxcnc package has.
- Click the `Apply` button, and let your computer install the new package. The old linuxcnc package will be automatically upgraded to the new one.

### 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

To update without a network connection you need to download the .deb then install it with dpkg. The .debs can be found in https://linuxcnc.org/dists/ .

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
```

Pick the OS from the list then pick the major version you want like 2.9-rt for RTAI or 2.9-uspace for preempt-rt.

Next pick the type of computer you have: binary-amd64 for 64-bit PC or binary-arm64 (64bit) for Raspberry Pi.

Next pick the version you want from the bottom of the list like *linuxcnc-uspace_2.9.8_amd64.deb* (choose the latest by date). Download the deb and copy it to your home directory. You can rename the file to something a bit shorter with the file manager like *linuxcnc_2.9.8.deb* then open a terminal and install it with the package manager with this command:

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

## 5.3 Updating Configuration Files for 2.9

### 5.3.1 Stricter handling of pluggable interpreters

If you just run regular G-code and you don’t know what a pluggable interpreter is, then this section does not affect you.

A seldom-used feature of LinuxCNC is support for pluggable interpreters, controlled by the undocumented `[TASK]INTERPRETER` INI setting.

Versions of LinuxCNC before 2.9.0 used to handle an incorrect `[TASK]INTERPRETER` setting by automatically falling back to using the default G-code interpreter.

Since 2.9.0, an incorrect `[TASK]INTERPRETER` value will cause LinuxCNC to refuse to start up. Fix this condition by deleting the `[TASK]INTERPRETER` setting from your INI file, so that LinuxCNC will use the default G-code interpreter.

### 5.3.2 Canterp

If you just run regular G-code and you don’t use the `canterp` pluggable interpreter, then this section does not affect you.

In the extremely unlikely event that you are using `canterp`, know that the module has moved from `/usr/lib/libcanterp.so` to `/usr/lib/linuxcnc/canterp.so`, and the `[TASK]INTERPRETER` setting correspondingly needs to change from `libcanterp.so` to `canterp.so`.

### 5.3.3 Spindle limits in the INI

It is now possible to add settings to the [SPINDLE] section of the INI file

MAX_FORWARD_VELOCITY = 20000 The maximum spindle speed (in rpm)

MIN_FORWARD_VELOCITY = 3000 The minimum spindle speed (in rpm)

MAX_REVERSE_VELOCITY = 20000 This setting will default to MAX_FORWARD_VELOCITY if omitted.

MIN_REVERSE_VELOCITY = 3000` This setting is equivalent to MIN_FORWARD_VELOCITY but for reverse spindle rotation. It will default to the MIN_FORWARD_VELOCITY if omitted.

INCREMENT = 200 Sets the step size for spindle speed increment / decrement commands. This can have a different value for each spindle. This setting is effective with AXIS and Touchy but note that some control screens may handle things differently.

HOME_SEARCH_VELOCITY = 100 - Accepted but currently does nothing

HOME_SEQUENCE = 0 - Accepted but currently does nothing

## 5.4 New HAL components

### 5.4.1 Non-Realtime

mdro mqtt-publisher pi500_vfd pmx485-test qtplasmac-cfg2prefs qtplasmac-materials qtplasmac-plasmac2c
qtplasmac-setup sim-torch svd-ps_vfd

### 5.4.2 Echtzeit

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

## 5.5 New Drivers

A framework for controlling ModBus devices using the serial ports on many Mesa cards has been introduced. http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/mesa_modbus.html

A new GPIO driver for any GPIO which is supported by the gpiod library is now included: http://linuxcnc.org/-docs/2.9/html/drivers/hal_gpio.html

# Kapitel 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**
A type of lead-screw that uses an Acme thread form. Acme threads have somewhat lower friction and wear than simple triangular threads, but ball-screws are lower yet. Most manual machine tools use acme lead-screws.

**Achse**
One of the computer controlled movable parts of the machine. For a typical vertical mill, the table is the X axis, the saddle is the Y axis, and the quill or knee is the Z axis. Angular axes like rotary tables are referred to as A, B, and C. Additional linear axes relative to the tool are called U, V, and W respectively.

**AXIS(GUI)**
One of the Graphical User Interfaces available to users of LinuxCNC. It features the modern use of menus and mouse buttons while automating and hiding some of the more traditional LinuxCNC controls. It is the only open-source interface that displays the entire tool path as soon as a file is opened.

**GMOCCAPY (GUI)**
A Graphical User Interfaces available to users of LinuxCNC. It features the use and feel of an industrial control and can be used with touch screen, mouse and keyboard. It support embedded tabs and hal driven user messages, it offers a lot of hal beens to be controlled with hardware. GMOCCAPY is highly customizable.

**Umkehrspiel**
The amount of ”play” or lost motion that occurs when direction is reversed in a lead screw. or other mechanical motion driving system. It can result from nuts that are loose on leadscrews, slippage in belts, cable slack, ”wind-up” in rotary couplings, and other places where the mechanical system is not ”tight”. Backlash will result in inaccurate motion, or in the case of motion caused by external forces (think cutting tool pulling on the work piece) the result can be broken cutting tools. This can happen because of the sudden increase in chip load on the cutter as the work piece is pulled across the backlash distance by the cutting tool.

**Umkehrspiel-Kompensation**
Any technique that attempts to reduce the effect of backlash without actually removing it from the mechanical system. This is typically done in software in the controller. This can correct the final resting place of the part in motion but fails to solve problems related to direction changes while in motion (think circular interpolation) and motion that is caused when external forces (think cutting tool pulling on the work piece) are the source of the motion.

**Kugelumlaufspindel**
A type of lead-screw that uses small hardened steel balls between the nut and screw to reduce friction. Ball-screws have very low friction and backlash, but are usually quite expensive.

**Kugelmutter**
A special nut designed for use with a ball-screw. It contains an internal passage to re-circulate the balls from one end of the screw to the other.

**CNC**
Computer Numerical Control. The general term used to refer to computer control of machinery. Instead of a human operator turning cranks to move a cutting tool, CNC uses a computer and motors to move the tool, based on a part program.

**Comp**
A tool used to build, compile and install LinuxCNC HAL components.

**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**
A Coordinate Measuring Machine is used to make many accurate measurements on parts. These machines can be used to create CAD data for parts where no drawings can be found, when a hand-made prototype needs to be digitized for moldmaking, or to check the accuracy of machined or molded parts.

**Anzeigeeinheiten**
The linear and angular units used for onscreen display.

**DRO**
A Digital Read Out is a system of position-measuring devices attached to the slides of a machine tool, which are connected to a numeric display showing the current location of the tool with respect to some reference position. DROs are very popular on hand-operated machine tools because they measure the true tool position without backlash, even if the machine has very loose Acme screws. Some DROs use linear quadrature encoders to pick up position information from the machine, and some use methods similar to a resolver which keeps rolling over.

**EDM**
EDM is a method of removing metal in hard or difficult to machine or tough metals, or where rotating tools would not be able to produce the desired shape in a cost-effective manner. An excellent example is rectangular punch dies, where sharp internal corners are desired. Milling operations can not give sharp internal corners with finite diameter tools. A *wire* EDM machine can make internal corners with a radius only slightly larger than the wire's radius. A *sinker* EDM can make internal corners with a radius only slightly larger than the radius on the corner of the sinking electrode.

**EMC**
The Enhanced Machine Controller. Initially a NIST project. Renamed to LinuxCNC in 2012.

**EMCIO**
The module within LinuxCNC that handles general purpose I/O, unrelated to the actual motion of the axes.

**EMCMOT**
The module within LinuxCNC that handles the actual motion of the cutting tool. It runs as a real-time program and directly controls the motors.

**Encoder**
A device to measure position. Usually a mechanical-optical device, which outputs a quadrature signal. The signal can be counted by special hardware, or directly by the parport with LinuxCNC.

**Vorschub**
Relatively slow, controlled motion of the tool used when making a cut.

**Vorschubgeschwindigkeit**
The speed at which a cutting motion occurs. In auto or MDI mode, feed rate is commanded using an F word. F10 would mean ten machine units per minute.

**Rückmeldung**
A method (e.g., quadrature encoder signals) by which LinuxCNC receives information about the position of motors.

**Vorschubgeschwindigkeit-Anpassung (engl. override)**
A manual, operator controlled change in the rate at which the tool moves while cutting. Often used to allow the operator to adjust for tools that are a little dull, or anything else that requires the feed rate to be ”tweaked”.

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

**G-Code**
The generic term used to refer to the most common part programming language. There are several dialects of G-code, LinuxCNC uses RS274/NGC.

**GUI**
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 Abstraction Layer. At the highest level, it is simply a way to allow a number of building blocks to be loaded and interconnected to assemble a complex system. Many of the building blocks are drivers for hardware devices. However, HAL can do more than just configure hardware drivers.

**Pos1**
A specific location in the machine’s work envelope that is used to make sure the computer and the actual machine both agree on the tool position.

**INI-Datei**
A text file that contains most of the information that configures LinuxCNC for a particular machine.

**Instanz**
One can have an instance of a class or a particular object. The instance is the actual object created at runtime. In programmer jargon, the ”Lassie” object is an instance of the ”Dog” class.

**Gelenk-Koordinaten**
These specify the angles between the individual joints of the machine. See also Kinematics

**Jog (manuelle Bewegung)**
Manually moving an axis of a machine. Jogging either moves the axis a fixed amount for each key-press, or moves the axis at a constant speed as long as you hold down the key. In manual mode, jog speed can be set from the graphical interface.

**Kernel-Space**
Code running inside the kernel, as opposed to code running in userspace. Some realtime systems (like RTAI) run realtime code in the kernel and non-realtime code in userspace, while other realtime systems (like Preempt-RT) run both realtime and non-realtime code in userspace.

**Kinematik**
The position relationship between world coordinates and joint coordinates of a machine. There are two types of kinematics. Forward kinematics is used to calculate world coordinates from joint coordinates. Inverse kinematics is used for exactly the opposite purpose. Note that kinematics does not take into account, the forces, moments etc. on the machine. It is for positioning only.

**Leitspindel**
An screw that is rotated by a motor to move a table or other part of a machine. Lead-screws are usually either ball-screws or acme screws, although conventional triangular threaded screws may be used where accuracy and long life are not as important as low cost.

**Maschineneinheiten**
The linear and angular units used for machine configuration. These units are specified and used in the INI file. HAL pins and parameters are also generally in machine units.

**MDI**
Manual Data Input. This is a mode of operation where the controller executes single lines of G-code as they are typed by the operator.

**NIST**
National Institute of Standards and Technology. An agency of the Department of Commerce in the United States.

**NML**
Neutral Message Language provides a mechanism for handling multiple types of messages in the same buffer as well as simplifying the interface for encoding and decoding buffers in neutral format and the configuration mechanism.

**Versätze**
An arbitrary amount, added to the value of something to make it equal to some desired value. For example, G-code programs are often written around some convenient point, such as X0, Y0. Fixture offsets can be used to shift the actual execution point of that G-code program to properly fit the true location of the vice and jaws. Tool offsets can be used to shift the ”uncorrected” length of a tool to equal that tool’s actual length.

**Werkstück Programm**
A description of a part, in a language that the controller can understand. For LinuxCNC, that language is RS-274/NGC, commonly known as G-code.

**Programm-Einheiten**
The linear and angular units used in a part program. The linear program units do not have to be the same as the linear machine units. See G20 and G21 for more information. The angular program units are always measured in degrees.

**Python**
General-purpose, very high-level programming language. Used in LinuxCNC for the Axis GUI, the StepConf configuration tool, and several G-code programming scripts.

**Schnell**
Fast, possibly less precise motion of the tool, commonly used to move between cuts. If the tool meets the workpiece or the fixturing during a rapid, it is probably a bad thing!

**Schnellauf-Geschwindigkeit**
The speed at which a rapid motion occurs. In auto or MDI mode, rapid rate is usually the maximum speed of the machine. It is often desirable to limit the rapid rate when testing a G-code program for the first time.

**Echtzeit**
Software that is intended to meet very strict timing deadlines. On Linux, in order to meet these requirements it is necessary to install a realtime kernel such as RTAI or Preempt-RT, and build the LinuxCNC software to run in the special real-time environment. Realtime software can run in the kernel or in userspace, depending on the facilities offered by the system.

**RTAI**
Real Time Application Interface, see https://www.rtai.org/, the real-time extensions for Linux that LinuxCNC can use to achieve real-time performance.

**RTLINUX**
See https://en.wikipedia.org/wiki/RTLinux, an older real-time extension for Linux that LinuxCNC used to use to achieve real-time performance. Obsolete, replaced by RTAI.

**RTAPI**
A portable interface to real-time operating systems including RTAI and POSIX pthreads with realtime extensions.

**RS-274/NGC**
The formal name for the language used by LinuxCNC part programs.

**Servomotor**
Generally, any motor that is used with error-sensing feedback to correct the position of an actuator. Also, a motor which is specially-designed to provide improved performance in such applications.

**Servo Loop**
A control loop used to control position or velocity of an motor equipped with a feedback device.

**Ganze Zahl mit Vorzeichen**
A whole number that can have a positive or negative sign. In HAL it is known as s32. (A signed 32-bit integer has a usable range of -2,147,483,647 to +2,147,483,647.)

**Spindel**
The part of a machine tool that spins to do the cutting. On a mill or drill, the spindle holds the cutting tool. On a lathe, the spindle holds the workpiece.

**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**
A type of motor that turns in fixed steps. By counting steps, it is possible to determine how far the motor has turned. If the load exceeds the torque capability of the motor, it will skip one or more steps, causing position errors.

**TASK (engl. für Aufgabe, auch Name des entsprechenden LinuxCNC Moduls)**
The module within LinuxCNC that coordinates the overall execution and interprets the part program.

**Tcl/Tk**
A scripting language and graphical widget toolkit with which several of LinuxCNCs GUIs and selection wizards were written.

**Traverse Bewegung**
A move in a straight line from the start point to the end point.

**Einheiten**
See ”Machine Units”, ”Display Units”, or ”Program Units”.

**Ganzzahl ohne Vorzeichen**
A whole number that has no sign. In HAL it is known as u32. (An unsigned 32-bit integer has a usable range of zero to 4,294,967,296.)

**Weltkoordinaten**
This is the absolute frame of reference. It gives coordinates in terms of a fixed reference frame that is attached to some point (generally the base) of the machine tool.

# Kapitel 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. PREAMBLE**

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. APPLICABILITY AND DEFINITIONS**

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 ”Covertexte” 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. VERBATIM COPYING**

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. COPYING IN QUANTITY**

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. MODIFICATIONS**

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:

A. 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. TRANSLATION

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. TERMINATION

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. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See 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**: How to use this License for your documents

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.