Kofinanziert von der Europäischen Union

IO 4:
Final outcome

Arbeitsplatzorientiertes Lernprojekt

"Installation, configuration and programming of electronic systems and control quantities of a training robot, for the professional fields of electrical engineering and mechatronics"

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Titel: VACIDE

Jahr: 01.10.2020 – 31.07.2023
Programm: Erasmus+ Strategische Partnerschaft
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743

Partnerschaft

VHS-Bildungswerk GmbH, Thüringen (Deutschland) (Koordinator)

Solski center Skofja Loka, Skofja Loka (Slowenien)

Eurocultura, Vicenza (Italien)

Gesellschaft zur Förderung von Bildungsforschung und Qualifizierung mbH Berlin (Deutschland)

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License, 2017. Einzelheiten finden Sie unter http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/. Der Text, die Abbildungen und die Tabellen in diesem Bericht können gemäß den Bestimmungen dieser Lizenz weiterverwendet werden. Logos und andere Marken fallen nicht unter diese Lizenz.

Kofinanziert von der Europäischen Union

Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Table of contents

THOR – The Project Work: Version Trainers 5
Part 1: Introduction 10
1. Robotics 10
2. Open Source 15
3. Robots 17
Part 2: Robot Arm Configuration 20
1. Hardware, software and firmware for the robot arm 20
2. Robot Arm Mainboard 23
3. Building materials for the robot arm 26
4. Additive manufacturing processes 29
Teil 3: Installation of the robot arm 43
1. Preparatory work for connecting the individual electrotechnical components to the PCB boards 43
2. Test run of the (stepper and servo) motors 44
3. Thor's Assembly 45
Part 4: Programming 47
1. Preparation 47
Additional task: Control software 51
Your scenario in this project work 57
In Part 1: Introduction, I gain knowledge about... 58
Teil 1: Introduction 59
1. Robotics 59
2. Open Source 64
3. Robot 66
In Part 2: Configuration of the Robot Arm, I gain knowledge regarding 69
Part 2: Configuration of the robot arm 70
4.2.2.1 Hardware, software and firmware for the robot arm 70
2. Robot arm mainboard 71
3. Building materials for the robot arm 74
4. Additive manufacturing processes 77
In Part 3: Installation of the Robotic Arm, I gain knowledge regarding... 91
Part 3: Installation of the robotic arm 92

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

1. Preparatory work for connecting the individual electrotechnical components to the PCB boards 92
2. Test run of the (stepper and servo) motors 93
3. Thor's Assembly 94
In Part 4: Programming, I gain knowledge regarding... 96
Part 4: Programming 97
1. Preparation 97
Additional task: Control software 101
Definitions 103
Bibliography 111

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Kofinanziert von der Europäischen Union

The Project Work: Version Trainers

more than a project work

A guiding text on the acquisition of knowledge about a robotarm and its creation. Version for the trainers.

Class: _____

Date: _____

Training company: _____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Scenario: The training company ALU KG

ALU KG (340 employees) is a medium-sized company that has been successfully operating on the market for 35 years. Professional tools and equipment are developed, made ready for series production and distributed through a dealer network.

-Prolog-

The task of developing a robot arm with various gripping tools was initiated by the management of ALU KG in order to expand the product range and establish itself on the market of robotics and robotic tools.

Risk management determined that the robotic arms market posed too much risk; the uncontrollable development costs and the highly competitive sales market were the main arguments. The management reacted by breaking new ground, tendering the development of the robot arm as open source and, based on this, launching further market analyses with regard to gripping tools. The idea behind this is to save the development costs for a robot arm by using the know-how of the online community and to serve the self-generated market with its own developments of gripping tools.

Since universities, schools, independent educational institutions and private individuals are very interested in open source solutions for the robot arm for reasons of cost savings and better understanding through self-implementation (self-construction), the sales market for suitable gripping tools generates itself and is not subject to the rules of open source.

The choice of robotic arm solutions developed by the online community fell on a combination of two versions of the THOR robotic arm. This was chosen because of its wide range of applications, relatively low manufacturing and hardware costs, and its open source software. The online community also led to previously unimagined synergy effects: a factory specializing in additive and subtractive machining (Loka Professional Pro-duction-LPP) in Slovenia and a company from Italy specializing in marketing (Eucur World Wide Marketing-EWWM) agreed to contribute their know-how. This circumstance appears to the management of ALU KG as a further guarantee that their considerations will lead to the desired success. In addition, the "level of awareness" of the companies involved will be increased, which may result in unexpected positive opportunities in the future.

The head of prototype construction at ALU KG received the order to produce five THOR within eight months and make them available to the head of the development department. This step turns the THOR into a training robot on which the possibilities of gripper developments can be tested and realized. The head of prototyping is skeptical about the open source solution. He decided to implement a robotic arm in the form of project work for the time being in order to have the opportunity to identify possible errors or improvements with project management tools.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Introduction

Welcome to our Thor robotic arm project.
Thor is a printable robotic arm that is open source and has six degrees of freedom. It was designed for use in robotics classes at universities and schools, which is why the design is affordable and the source file is freely accessible.
This project is intended to enable your trainees to independently develop and carry out complex manufacturing and assembly tasks. To this end, they should work out the stages of configuration, installation and programming together and independently in small learning groups. They take on the role of a trainer, which is comparable to that of a consultant in a company. This means that they are at your side in an advisory capacity, while your trainees independently look for solutions, implement them and document them. As part of the team, your trainees should:
look at the key questions together, draw up a work plan and submit it to the learning advisor for review;
answer the key questions in writing;
compare the solution with the control sheet and make an assessment of the solution (not in grades, but in a verbal description);
talk to you about the solution;
Presentation of the results with a final feedback.
The technical knowledge they need to cope with the tasks was already imparted during the training. This knowledge must now be applied.
To answer the questions, you will be provided with a reasonable period of time and suitable sources. In order to better understand and comprehend the working method in the project, there are introductory exercises. It is important that the answers are formulated themselves. A copy and paste is rated as "Unanswered".
Each part of the guide text is preceded by an overview that can be used to document the respective learning success.
We wish you every success!

Information material, aids:
Internet research on the topics of "robotics", "additive manufacturing"
self-chosen literature
digital learning sequences

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Hint

Please do not begin the lead text without first reading the following:

This guiding text is structured in such a way that information gathering, application tasks and control are linked. Therefore, it is necessary that the tasks are processed in the given order!

A guiding text is not "rigid", but can be used in relation to the company. From this it can be deduced that individual questions can be modified, supplemented or updated.
In the event that problems arise during the project work regarding the question or even the processing, they should discuss them with their trainees. In general, however, the guiding text must be edited and checked independently.
The evaluation of the group results will then take place together with you.

The decisive factor for the success achieved is not to edit the guiding text as error-free as possible, but to practice how to work out a given task independently and to learn from it.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Learning sequence 1: Now please open the learning sequence "Introduction" and watch the video calmly and thoroughly.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Part 1: Introduction

This first part is about gaining a first introduction to robotics. The focus is on the following areas: robotics and open source. These introductory exercises serve to ensure that the entire course is at the same level of knowledge and that new elementary knowledge about these areas is acquired.

1. Robotics

This exercise is intended to enable trainees without any previous points of contact to gain access to the topic of "robotics".

The quality of the answers is negligible in the introductory exercise, in the sense of wrong or right. First and foremost, it is a matter of helping the trainees to a common level with regard to their basic understanding of this topic. This is to be done concretely through a discussion in the solution of the task. During the discussion, you can identify the "experts" in your group with the help of question 8 (below) and integrate them appropriately into group work, taking into account the group dynamics. Work with the scenario integrated in the task and feel free to take on the role of the person to whom the solutions are to be communicated, the head of prototype construction.

Important: The listed solutions to this task do not claim to be complete, they are primarily used for basic understanding and secondarily for assessing group dynamics.

Timeframe:	2 hours
Aufgabenart:	Einzelaufgabe
Information sources:	Robots Robotics Definition of robotics Fields of application When is a robot a robot? - Robot world Computers & Robots - Computers & Robots - Technology - Planet Wissen (planet-wissen.de) Robots: basics, facts, markets and manufacturers of industrial robots Industrial robot Industrial robot

Lernsequenz:

Note: In addition, search the Internet for the respective definitions/descriptions and check the first 10 results. This is to ensure that it is up-to-date. In the case of new features, you can change the answers for further use.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Task:

1. Where does the term robot come from and what does it mean?
   - The term is borrowed from the Slavic - *robota* or *Robath* - and means work in the Polish-speaking world and in the Czech it means compulsory work (in a figurative sense, an imposed, difficult work or work).[1]

2. What is "robotics"?
   - Design, design, control, production and operation of robots[2]
   - integrates approaches from mechanical engineering, electrical engineering and computer science, in particular artificial intelligence (AI)[3]
   - must work closely with human-machine interaction and human-robot collaboration, psychology and sociology (social robotics) and philosophy (machine ethics)[4]
   - Robotics results are important for business (industrial, agricultural and service robots), science (space, research and experimental robots), society (service robots, assistance systems and social robots), healthcare (service robots and social robots such as care and therapy robots), transport (robot cars), military (combat robots)[5]
   - implements the interaction of sub-areas of information technology or information processing with the physical world with the help of sensors, actuators[6]

3. What is an industrial robot?
   - According to the European standard EN 775, a robot is an automatically controlled, reprogrammable, multi-purpose handling device with several degrees of freedom, which is used either stationary or mobile in automated manufacturing systems. The degree of automation is constantly increasing."[7]
   - according to VDI 2860: "Industrial robots are universally applicable motion machines with several axes whose movements are freely programmable or sensor-guided in terms of movement sequence and paths or angles. They can be equipped with grippers, tools or other means of production and can perform handling and/or manufacturing tasks."[8]

---

1 Cf. The Digital Dictionary of the German Language (ed.): Robots. Available online at https://www.dwds.de/wb/Roboter, last checked on 13.06.2022.
2 Cf. Bendel, O.: Robotics. Definition: What is "robotics"? Ed. by Galber Wirtschaftslexikon. Available online at https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/robotik-54198, last checked on 20.06.2022.
[3] Cf. ibid.
[4] Cf. ibid.
[5] Cf. ibid.
[6] Cf. ibid.
[7] Cf. induux Wiki (ed.): Industrial Robots. Available online at https://wiki.induux.de/Industrieroboter, last checked on 20.06.2022.
[8] Cf. lernchannel.de (ed.): Robot and Handling Devices. Definition of robots according to VDI guideline 2860 and the standard EN 10218-1. Available online at http://learnchannel.de/de/robo/handhabungsgeraete/, last checked on 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

4. Where can robots be used in industry?
   - The areas of application usually concentrate on assembly work or machining (welding, riveting, screwing, joining, gluing, joining, painting, deburring, grinding, milling, drilling, cutting, cleaning), and handling (machine assembly, palletizing, packaging, testing, measuring) of workpieces.[9]

5. When is a machine a robot?
   - Robots are machines that move independently and perform various activities10
   - Machines need human control, so they are not independent11
   - Question to stimulate discussion

6. What is the difference between robots and automatons and robots and machines? Give 2 examples at a time zu Automaten und Maschinen.12

Robot	Automats
is programmable and therefore ready for various tasks	Cannot be programmed (no axes that can be used for another purpose) ergo no freely programmable motion sequence
can adapt to the mechanical process	wiederholen nur nach einem festgelegten Plan bzw. Zustände (Münzeinwurf) vordefinierte Arbeitsschritte bzw. Arbeitsvorgänge
can work independently	are designed and put into operation only for this one work step or work process; if this work step or operation is no longer required, this also applies to the respective machine e.g.: vending machines, coffee machines

[9] Cf. Liebl, S.; Luft, C.; Seidel, M.: ERP systems in the transformation of digitization. Available online at https://betrieb-machen.de/nachgelesen_robotik/, last checked on 20.06.2022.
[10] Cf. Roboterwelt (ed.) (2015): When is a robot a robot? Available online at http://www.roboterwelt.de/magazin/wann-ist-ein-roboter-ein-roboter/, last checked on 20.06.2022.
[11] Cf. ibid.
[12] Vgl. ebd. sowie Eberhorn, J.; Lohrmann, J.; Ziegler, W. (2006): Computer und Roboter. Roboter. Online verfügbar unter https://www.planet-wissen.de/technik/computer_und_roboter/roboter_mechanische_helfer/index.html#:~:text=Roboter%20sind%20Maschinen%2C%20die%20sich,nur%20eine%20einzige%20Arbeit%20ausf%C3%BChren., zuletzt aktualisiert am 2020, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Robot	remote-controlled machines
do not require an external pulse	require external inputs throughout
works independently	are not self-employed
	e.g. model aircraft, remote-controlled wheel loader

1. What are important parameters of industrial robots?
   - Possible answers:
     - Load parameter: describes which load can be attached to a robot[13]
       - Nominal load, payload, additional load
       - Nominal load: shows max. allowable unrestricted movable load that the robot can handle
       - based on the maximum load, a distinction is made between: small, medium and heavy-duty robots
     - Geometric parameter[14]
       - e.g. the workspace
       - is indicated in data sheets
       - depending on the kinematics of the robot and the tool, the range varies and so does the working space
       - Workspace depends on the use case
     - kinematic parameter[15]
       - These include: velocity and acceleration parameters as well as time variables
     - Accuracy – Repeatability[16]
       - indicates how exactly a point is reached again at least when all axes are moved to the stored positions
     - Accuracy – Pose accuracy[17]
       - Precision
       - indicates the accuracy with which a robot reaches a given point

2. How is an industrial robot constructed? In this regard, create a labeled sketch. Then explain what degrees of freedom are and draw them into your sketch.

[13] Cf. Flores, A. M.; Reinhart, G.; Zwicker, C. (2018): Industrial Robots. Planning, integration, trends. A guide for SMEs. Würzburg: Vogel Communications Group. Available online at https://www.vbm-fachbuch.de/media/pdf/90/69/4b/sample-9783834334015.pdf, last checked on 20.06.2022, p.20.
[14] Vgl. ebd. S.20.
[15] Cf. ibid., p.20.
[16] Vgl. ebd. S.21.
[17] Vgl. ebd. S.21.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- possible sketch:

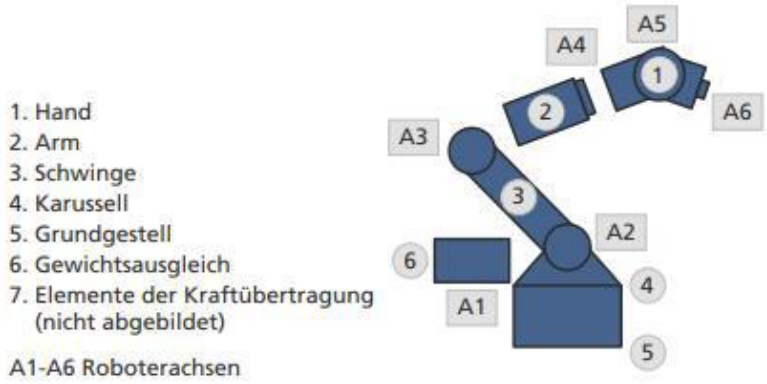


Fig. from Flores, A. M.; Reinhart, G.; Zwicker, C. (2018): Industrial Robots. Planning, integration, trends. A Guide for SMEs, p.17.

- Degrees of freedom (here 6) indicate how many driven and independent movements a workpiece/tool attached to the robot can perform compared to a fixed coordinate system[18]

3. Do you have robots in the company?
   - if so, what tasks do they perform?
   - if not: do you see a field of application in your company?
   - open question, encourages an exchange of (experience) among each other

[18] Vgl. Flores, A. M.; Reinhart, G.; Zwicker, C. (2018): Industrieroboter. Planung Integration Trends. Ein Leitfaden für KMU, S.17.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. Open Source

Group work: First, divide the participants into groups, with a minimum of 3 people per group (max. 5 people).

This exercise is intended to observe the social interaction in the personal contact of the participants in the groups and to evaluate the social competence (ability to dialogue, sense of form, ability to communicate) on the basis of this.
On the basis of your observation and subsequent evaluation, the groups are to be recomposed and balanced in the subsequent group work in view of their inclinations, aptitudes and efficiencies or, if the group dynamics are suitable, left as they are.
Furthermore, the group task offers the possibility for the trainees to plan the work in your team independently and distribute the tasks accordingly and adapt their workplace accordingly.

Important: The listed solutions to this task do not claim to be complete, they are primarily used to assess group dynamics and secondarily to understand open source.

Timeframe:	1 hour
Task type:	Group task 3-5 people
Information sources:	Open Source
	Open Source: What is it?
	Open Source Software Explained
	Legal risks of open source
	Dangers

Note: In addition, search the Internet for the respective definitions/descriptions and check the first 10 results. This is to ensure that it is up-to-date. In the case of new features, you can change the answers for further use.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Task:

1. What does open source mean?
   - translates as "open source" / "open source code"[19]
   - In general, this means software that anyone can study, use, modify and copy at will[20]

2. Name three open source applications.
   Possible examples: [21]
   - VLC media player
   - Firefox Browser
   - LibreOffice and OpenOffice as alternatives to Microsoft Office
   - Gimp photo editor

3. Is open source always limited to software?
   - No, it can also be digital products in the sense of files, e.g. music, books, 3D print files, blueprints

4. Is open source always free?
   - No. The executable software can incur costs, e.g. if you just want to use the software and not develop it further. It simply means that the source code is provided free of charge.[22]

5. What are the dangers or could be posed by open source solutions?
   - There are various license conditions that must be observed[23]
   - Open source applications can have a lot of security holes, which is not true because hackers do not need source code→[24]

6. What is your opinion on open source?
   - Open-ended question, intended to stimulate discussion

[19] Cf. Federal Agency for Civic Education (ed.) (2006): Open Source. Available online at https://www.bpb.de/themen/digitalisierung/opensource/, last checked on 20.06.2022.
[20] Cf. ibid.
[21] Cf. Schulz, S. (2018): Open Source: What is it exactly? Available online at https://praxistipps.chip.de/open-source-was-ist-das-genau_12877, last checked on 20.06.2022.
[22] Cf. RedHat (ed.) (2019): What is open source software? Available online at https://www.redhat.com/de/topics/open-source/what-is-open-source-software, last checked on 20.06.2022.
[23] Cf. Schulz, S. (2018): Open Source: What is it exactly?
[24] Cf. Hißen, F. (2016): Danger through Open Source? Why open source is not insecure. Ed. by COMPUTERWOCHE TEC WORKSHOP. Available online at https://www.tecchannel.de/a/gefahr-durch-open-source,3203189,2, last checked on 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. Robots

This exercise is intended to encourage trainees to grasp the components of a robot more precisely and thus to develop an initial understanding of how Thor should be structured. The focus is on the control box, as it is necessary for the subsequent parts of the project to know all the essential factors and to internalize the importance of these. In addition, this exercise encourages systematic and complex thinking, as you have to create your own representations/schemes, which should also further strengthen the interaction in the group and the group dynamics.

Important: The listed solutions of this task do not claim to be complete, they are primarily used to understand the control box.

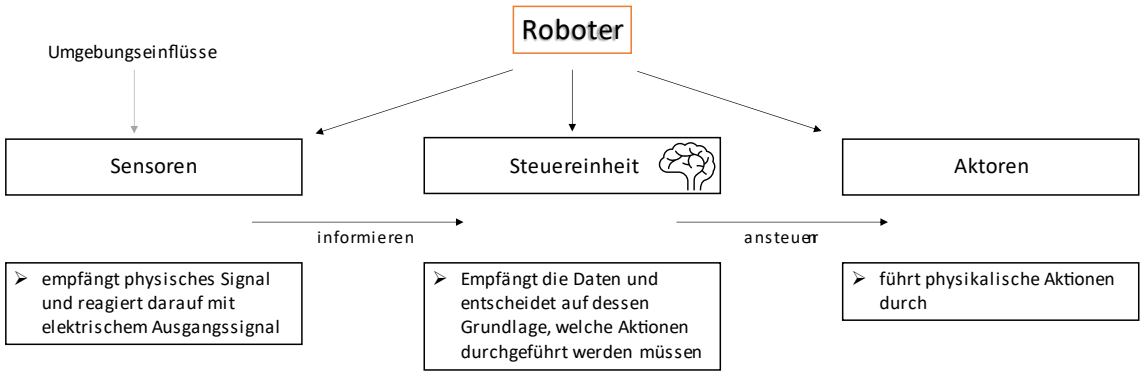
Timeframe:	2 hours
Aufgabenart:	Einzelaufgabe
Information sources:	Robotics
	PCB

Note: In addition, search the Internet for the respective definitions/descriptions and check the first 10 results. This is to ensure that it is up-to-date. In the case of new features, you can change the answers for further use.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Task:

1. What are the basic components of a robot? Address the question of whether the robot consists of one or more systems. Name and explain them briefly. To do this, use the predefined scheme and add to it.[25]



- Robot consists of 3 subsystems: sensors, control unit and actuators[26]

1. Why is the design of a control box essential?
   This is a brain teaser and is intended to encourage the trainees to deal intensively with the function of a control box and to think independently about its meaning. Possible answers could be:
   - offers space for the electronic components (e.g. circuit board)
   - these regulate or control all other components
   - without a control box, it is not possible to run functions
   - The "brain" of a machine, so to speak
   - for the smooth functioning of the individual components, the placement (and their selection) of the active and passive ventilation elements is of great importance
   - Space for sufficient mounting options (screw connection, slot/pin slots inserted)
   - Arrangements for eventual maintenance/repair (simplified access to components)
   - Safety aspects (e.g.: no direct control of the robot in the working radius by touchpad)
   - Accomodation and accessibility of peripherals/connection options
   - Protection against short circuits

[25] self-created based on Oubbati, M. (2007): Robotics. Lecture notes. University of Ulm. Ulm. Available online at https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.inst.130/Arbeitsgruppen/Robotics/Robotik/Robotik-Skript_07-08.pdf, last checked on 20.06.2022.
[26] Vgl. Oubbati, M. (2007): Robotik. Skript zur Vorlesung. Universität Ulm. Ulm. Online verfügbar unter https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.inst.130/Arbeitsgruppen/Robotics/Robotik/Robotik-Skript_07-08.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. What should be considered when choosing fans? Would the control box only be able to get by with a smaller fan or none at all?
   This is also a brainteaser and should lead to an independent derivation of the meaning of fans. Possible answers could be:
   - The ratio of the incoming and outgoing volume flow of the fan(s) and the expected heat development of the electronic components
   - The power requirement of the fan(s) (in case of unmatched, i.e.: power consumption of the fan > the power provided by the board has a negative impact on the rest of the board components)→

3. What are PCB boards?
   - printed circuit board = PCB = the mainboard 'itself'[27]
   - Carrier for electronic components[28]
   - is used for mechanical fastening and electrical connection[29]
   - consists of electrically insulating material with adhering and conductive connections (= conductor tracks)[30]

[27] Cf. techopedia (ed.) (2017): Printed Circuit Board (PCB). Available online at https://www.techopedia.com/definition/2267/printed-circuit-board-pcb, last updated on 2017, last checked on 20.06.2022.
[28] Cf. ibid.
[29] Cf. ibid.
[30] Cf. ibid.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Part 2: Robot Arm Configuration

Now basic knowledge is consolidated. Part 2 of this project work is about the configuration of Thor. The robotic arm broadly includes technical knowledge of CAD, 3D printers, PCB design, electronics, programming and robotics. The configuration is intended to show why all this knowledge flows together in this project. With the help of a wide variety of considerations, it becomes clear which hardware components are required, which software is used in this regard and how Thor has to be assembled in general. If this is clear, it becomes clear why the Thor project brings such a large amount of knowledge with it. These steps form the basis for the assembly and assembly of the robot arm.

Note: The total tasks in Part 2 are processed in the respective groups.

1. Hardware, software and firmware for the robot arm

This exercise is intended to encourage the trainees to deal more intensively with the components of the robot arm. This should give you a complete overview of what is necessary for the construction of the robot arm.

Important: Before working on Part 2, it is necessary that you divide the trainees into groups of 3-5 people. In order to achieve a good group constellation, the tasks in Part 1 serve you to filter out knowledge and create good group dynamics.

Timeframe:	1 hour
Task type: k	Group tas
Information sources:	Get Started – Thor http://thor.angel-lm.com/documentation/bom/ Thor (other version) Duet3 Motherboard Duet3 Motherboard

Note: In addition, search the Internet for the respective definitions/descriptions and check the first 10 results. This is to ensure that it is up-to-date. In the case of new features, you can change the answers for further use.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Task:

1. What hardware is needed? Justify your answer.
   - 3D printers[31]
     - Printing area over 300x300mm desirable
     - 200x200mm is sufficient, as the large parts can be printed in divided
   - Soldering station[32]
     - For soldering the wires and electronic components to the circuit board
     - preferably with a heat gun for soldering SMD components
   - Multimeter[33]
     - helpful to make the electronic connections, test sensors/actuators or check solder connections
   - Allen key and screwdriver set for tightening the screws34
   - Electronics[35]:
     - Duet3 Mainboard 6HC + Duet3 Expansion 3HC
     - Schematic: Duet3-Mainboard-6HC/ Duet3_MB_6HC_v1.0_Wiring_Diagram.svg at master Duet3D/Duet3-Mainboard-6HC · GitHub

2. What software is needed? Justify your answer.
   - FreeCAD (https://www.freecadweb.org/)[36]
     - parametric 3D modeler
     - every single component of Thor was modeled with it
     - CAD files are freely accessible
     - advantageous for construction
   - Code Editor[37]
     - useful to deal with the software or the control firmware
     - is a text editor with code support like Atom
     - Here, for example. used: mCODE or G-code (from CNC technology)
   - Control software[38]
     - Software called Duet Pie (GUI)
     - Duet3D Software: Framework

[31] Vgl. Ángel, L. M.: Get Started. Online verfügbar unter http://thor.angel-lm.com/documentation/get-started/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.
[32] Cf. ibid.
[33] Cf. ibid.
[34] Cf. Ángel, L. M.: Get Started.
[35] Vgl. Tony: Duet 3 Mainboard 6HC Hardware Overview. Overview of Duet 3 Mainboard 6HC hardware features. Hg. v. duet3d. Online verfügbar unter https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Duet_3_Mainboard_6HC_Hardware_Overview, zuletzt geprüft am 20.06.2022.
[36] Vgl. Ángel, L. M.: Get Started.
[37] Vgl. ebd.
[38] Vgl. duet3d (Hg.) (2022): Duet3D Documentation. Introduction to the Duet3D range of control electronics. Online verfügbar unter https://docs.duet3d.com/, zuletzt aktualisiert am 2022, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Kofinanziert von der Europäischen Union

3. What firmware is needed? Justify your answer.
    - Firmware compatible with the motherboard: RepRapFirmware version RRF 3.x[39]
    - Extremely configurable and flexible[40]
    - supports a wide range of machine kinematics, a large number of axes, tools and ancillary units[41]

[39] Cf. ibid.
[40] Cf. ibid.
[41] Cf. ibid.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. Robot Arm Mainboard

This exercise will put a lot of strain on your trainees' cognitive abilities.
Find yourself in the role of the expert who advises and keeps an eye on the right direction.
The aim is to train or activate the problem-solving skills of the trainees in order to enable them to analyze, understand and ultimately solve complex problems. The example of the missing and no longer produced board/mainboard is a mirror of our time, in which individual components and/or systems are quickly overtaken by technological development.
In order to save resources and act sustainably, it is necessary to prepare future skilled workers for such a problem and to involve solutions without rigid schemes.

Timeframe:7 hours
Task type:Group task
Information sources: Thor Elektronik (other version)

Motherboard no longer in production:
Ultratronics Pro v1.0

Alternatives Mainboard:
Duet 2 Wifi controller card
Duet 3 Mainboard 6HC
Duet3
RADDS v1.6

Note: In addition, search the Internet for the respective motherboard and the alternatives. This is to ensure that it is up-to-date. In the case of new features, you can change the answers for further use.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Task:

1. For which task was the Ultratronics Pro v1.0 (mainboard) originally developed?
   - for the in-house design of 3D printers[42]
   - The mainboard is the main component of the robot arm. It acts as an intermediary/translator/coordinator between user commands and physical executions/movements (kinematics and inverse kinematics) of the robot arm.[43]

2. Why has this board also been usable for the robot arm construction?
   - The Ultratronics Pro motherboard was designed and developed for the control/movement of 3D printers. Among other things, the board controlled/coordinated the stepper motors of the printers. Resourceful engineers use this property to implement it in robotics. [44]

   - The question of whether this type of motherboard was first used in robots or 3D printers must be clearly answered with its use in robots. This particular motherboard was designed for the adaptive sector and has made its evolution back to the robot (in adopted form).

3. How could an alternative procurement to this motherboard be accomplished, what is important? Agree on an alternative in your group.
   - This question is the most time-consuming component of the task and encourages research and intensive thought processes.
   - The only working solution alternative can be achieved with the Duett 3, which also requires the Duett 3 extension 3HC and a Raspberry Pi 3. See also: https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Getting_Started_With_Duet_3 (This page serves as a tip for your apprentices)
   - If your apprentices find another solution that could also work, the recommendation is to try it out and, if the result is positive, to include it in the teaching material. In the future, several functional alternatives could also be included in the task.
   - The components that appear on the "Electronic Layout V2.0 THOR+", such as the "LOGIC SHIFTER", the display and the BLUETOOTH element, are omitted because the Duett 3 has different and better options for transmitting commands or information.

4. In this regard, make changes in "1. Hardware, software and firmware for the robot arm".
   - The purpose of the change is to ensure that all information is collected and complete for subsequent tasks. If this were not the case, the tasks would be processed incorrectly.

[42] Cf. reprapworld (ed.): Ultratronics Pro v1.0. The number one 3D printer electronics, 32-bit microprocessor. Available online at https://reprapworld.de/electronics/controller-boards/ultratronics/ultratronics-pro-v1-0/, last checked on 20.06.2022.
[43] Vgl. ebd.
[44] Cf. ibid.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

5. To do this, make a layout design of the electronic circuit (wiring diagram) for the Wiring of the robot arm. Justify your decision (What parameters did you rely on? why respected?).

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. Building materials for the robot arm

This task encourages trainees to apply the information they have gathered so far. It is important to make sure that the parts list of the Bill Of Materials – Thor (angel-lm.com) page has not been copied, as other components are sometimes to be used. For example, the use of Duet3 is accompanied by changes. This also serves to check whether the trainees are thinking along in a targeted manner and have understood which material is needed where.

Timeframe: 2 hours
Task type: Group task
Information sources: Thor Material (other version)
Duet 3 Motherboard

Task:

What building materials are needed to assemble Thor?
In this regard, create a parts list with all components to be purchased (e.g. belts, bearings, components of the control board). Note: Please note that not all components shown on the website in the Thor documentation have been used. To do this, use your notes from the previous tasks.

Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer/ Norm-Kurzbezeichnung	Bemerkung
1	1	Stck	Stepper Motor 40mm		Haltedrehmoment: 39.22 N.cm
2	3	Stck	Stepper Motor 34mm		Haltedrehmoment: 121.2 N.cm
3	3	Stck	Stepper Motor 34mm		Haltedrehmoment: 21.57 N.cm
4	2	Stck	Riemen (GT2 geschlossen)		Länge: 208mm (104 Zähne) Breite: 6mm
5	1	Stck	Riemen (GT2 offen)		Länge: 1000mm Breite: 6mm
6	3	Stck	GT2 Riemenscheibe		Zähne: 20 Stck Bohrung: 5mm
7	2	Stck	GT2 Riemenscheibe		Zähne: 40 Stck Bohrung: 5mm
8	1	Stck	Lager Typ 16014zz		

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

9	11	Stck	Lager Typ 625ZZ		
10	2	Stck	Lager Typ MF84ZZ		
11	30-40	Stck	Kunststoff- oder Metall-kugeln 6mm		
12	2	Stck	Wellen		Länge: 14mm Durchmesser: 4mm
13	1	Stck	Wellen		Länge: 14.5mm Durchmesser: 5mm
Pos.	**Menge**	**Ein-heit**	**Benennung**	**Sachnummer/ Norm-Kurzbezeich-nung**	**Bemerkung**
14	1	Stck	Wellen		Länge: 32mm Durchmesser: 5mm
15	1	Stck	Wellen		Länge: 102mm Durchmesser: 5mm
16	1	Stck	Wellen		Länge: 128mm Durchmesser: 5mm
17	2	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M2x4-8.8	
18	3	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M2x6-8.8	
19	2	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M2x10-8.8	
20	4	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x6-8.8	
21	60	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x8-8.8	
22	4	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x10-8.8	
23	35	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x12-8.8	
24	2	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x14-8.8	

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

25	37	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x16-8.8	
26	12	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x20-8.8	
27	16	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x25-8.8	
28	8	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x30-8.8	
29	15	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x40-8.8	
30	8	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M3x46-8.8	
31	4	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M4x20-8.8	
32	1	Stck	Zylinderkopfschraube	ISO 4762 – M5x16-8.8	
33	4	Stck	M2 Mutter		
34	155	Stck	M3 Mutter		
35	4	Stck	M4 Mutter		
36	1	Stck	M5 Mutter		
Pos.	**Menge**	**Ein-heit**	**Benennung**	**Sachnummer/ Norm-Kurzbezeich-nung**	**Bemerkung**
37	1	Stck	Mikro-Endschalter		
38	7	Stck	Lüfter		40x40x10mm (2 Drähte)
39	4	Stck	optischer Endschalter		
40	3	Stck	PCB-Boards[45]		
41	8	Stck	A4988 Stepper Motor Treiber		

Tabelle erstellt nach Tony: Duet 3 Mainboard 6HC Hardware Overview. Overview of Duet 3 Mainboard 6HC hardware features. Hg. v. duet3d.

[45] Vgl. Tony: Duet 3 Mainboard 6HC Hardware Overview. Overview of Duet 3 Mainboard 6HC hardware features. Hg. v. duet3d.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

4. Additive manufacturing processes

This exercise is intended to ensure that all trainees are on the same level of information regarding additive manufacturing processes. This information is of great necessity because the robotic arm consists of printed components. As a result, your trainees acquire new/extended knowledge regarding additive manufacturing.

Time:	5 hours
Task type:	Group task
Information sources:	Basic concepts of additive manufacturing generative manufacturing processes 3D printing parts Thor (other version) FDM Thor (other version) Support structure FDM, SLA, SLS FDM vs. SLA Manufacturing process
Learning sequence:	"Process chain"

Note: In addition, search the Internet for the respective definitions/descriptions. This is to ensure that it is up-to-date. In the case of new features, you can change the answers for further use.

Task:

1. What is a layered construction method?[46]
   - also called: e.g. additive manufacturing, layer manufacturing
   - Component is made from many individual layers on top of each other
   - The desired geometry is created by joining solid elements together
   - all bodies are basically cut into slices and can be rebuilt from them Layered construction principle→
   - generative manufacturing processes automate the creation of the schematic of the single layer, joining the layers together layer by layer in the correct order→
   - Process: Create CAD model computer-internal sectional representation (slicing) Conversion of the individual cross-sections into real layers, joining the real individual layers real mode

[46] Vgl. Form+Werkzeug (Hg.): Grundbegriffe Additive Fertigung. Produktionsprozess - Additive Fertigung. Online verfügbar unter https://www.form-werkzeug.de/search?params=%7B%22query%22%3A%22pla%22%7D, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. Describe the most important points of the process chain of a generative manufacturing process. Take a look at the attached learning sequence.[47]

1. Create a computer-internal 3D CAD data set that reproduces the component
   - Modeling the solid model
   - Design guidelines must be observed
2. Conversion to an STL file
   - Conversion via triangulation
   - is a neutral exchange format, non-standard, de facto industry standard
3. Component orientation, support structure, slicing process
   - Influence of component orientation: on component accuracy, surface finish, mechanical-technological properties, support structure, construction time, post processing, costs
   - Support structure necessary for: overhanging structures, undercuts, cavities, etc., functional assemblies
   - Slicing process includes, among other things, the G-code generator, geometric layer information, layer height, fill level, speed and scaling
4. Preparation of the machine (2nd-4th construction process preparation)
5. Physical manufacturing
6. Removal of the physical model (5th-6th construction process)
7. Post-processing
8. Use of the physical model

3. What additive manufacturing processes are there? Name and describe SLA, SLS, and FDM procedures. Which one would you choose to print the components? To better understand the processes, you will be particularly helped by the videos available on the pages FDM, [48]SLA, SLS, FDM vs. SLA and manufacturing processes .

- SLA

1. Stereolithography

[47] Lernsequenz basiert auf Informationen aus Anderl, R. & Arndt, A. (2014): Additive Manufacturing oder generative Fertigungsverfahren – vom Prototypen zur Massenfertigung? Technische Universität Darmstadt. Darmstadt. Online verfügbar unter https://docplayer.org/2631516-Additive-manufacturing-oder-generative-fertigungsverfahren-vom-prototypen-zur-massenfertigung.html, zuletzt geprüft am 20.06.2022 und Form+Werkzeug (Hg.): Grundbegriffe Additive Fertigung. Produktionsprozess - Additive Fertigung.

[48] Cf. Anderl, R.; Arndt, A. (2014): Additive Manufacturing or Generative Manufacturing Processes – from Prototype to Mass Production?, Cf. formlabs (Ed.): 3D Printing Technology in Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS. Available online at https://formlabs.com/de/blog/3D-drucktechnologie-vergleich-fdm-sla-sls/, last checked on 20.06.2022., Cf. formlabs (ed.): FDM vs. SLA: the two most popular types of 3D printers in comparison. Available online at https://formlabs.com/de/blog/fdm-vs-sla-compare-types-of-3d-printers/, last checked on 20.06.2022. and Cf. formlabs (ed.): Guide to manufacturing processes for plastics. Available online at https://formlabs.com/de/blog/leitfaden-fertigung-sprozesse-kunststoffe/, last checked on 20.06.2022.https://docplayer.org/2631516-Additive-manufacturing-oder-generative-fertigungsverfahren-vom-prototypen-zur-massenfertigung.html

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- The starting point of this manufacturing process: a basin filled with liquid photopolymer
- Special property of the special plastic: it solidifies after a certain exposure time below a certain wavelength
- To produce objects, the individual layers of a 3D model are projected onto the surface of the liquid material using a laser and a movable print bed is positioned under its surface
- Manufacturing process:
    - The individual layers of a 3D model are projected onto the surface of the liquid material with the help of a laser, under the surface of which a movable print bed is positioned
    - the first layer solidifies and attaches the object to the print bed underneath
    - then the build platform is moved down by the height of one layer so that liquid material can collect above it again, the layer thickness of the photopolymer is precisely adjusted by a wiper arm, then the exposure of the next layer takes place
    - after the construction process, the hardened object is removed from the bath, freed from the support structure and excess resin and cleaned
    - This is often followed by post-exposure in a UV exposure chamber until complete curing
- Properties:
    - hohe Materialkosten
    - hohe Druckqualität und Genauigkeit
    - Stützmaterial nötig
    - Geräte sind im Bauraum beschränkt
    - lange Druckzeiten

- SLS
    - Selective Laser Sintering (SLS)
    - Layers are fused together by means of high-power lasers (Co2 lasers) under an inert gas atmosphere
    - Manufacturing process:
        - Building platform is lowered by one layer height
        - By means of a squeegee/roller, a layer of powder is applied to the building platform below a precisely defined height
        - then the exposure process takes place by means of laser radiation
        - the build platform moves down one layer height again and the process starts all over again
    - This makes it possible to process plastics, metals, ceramics, sand
    - Properties:
        - very high acquisition costs for the machine, therefore not of use for training purposes, etc.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

  - Printing material in powder form
  - Very precise temperature control required in the installation space
  - Heated installation chamber
  - Limited installation space
- FDM
  - Fused Deposition Modeling, Schmelzschichtung
  - is currently one of the cheapest ways to create a 3-dimensional object
  - individual layers of the component are printed on a heated platform
  - Print head = heated extruder that melts fed material
  - either the nozzle itself moves, or the platform below it (depending on the model)
  - only when one layer solidifies can the next one be applied
  - The quality of the component depends on the digital design, the precision of the movements, the fineness of the nozzles and the thermal properties of the material
  - Properties:
    - colored components can be realized
    - Support structures necessary
    - low investment and costs
    - quick assembly
    - Sufficient accuracy for many components

- FDM process is best for the robot's components, as there are no high costs, the accuracy is sufficient, the installation space fits the size of the parts and everything is quickly ready for use

4. Filament

a) Which standard filaments are there and which one would you use for the components, justify this.

- Standard filaments: PLA, TPU, PETG, ABS[49]
- Filament for the components[50]:
  - PLA, as this is easy and inexpensive to print, and the material also has a suitable texture
  - ABS for components that are in contact with the motors, as ABS is more heat-resistant than PLA

b) How much filament is needed? What to look out for during/after printing?

Amount of filament[51]:

- PLA 3-4kg

[49] Cf. 3Druck.com (ed.): What is 3D printing? The 3D printing basic course. Available online at https://3druck.com/3d-druck-grundkurs/, last checked on 20.06.2022.
[50] Vgl. Ángel, L. M.: 3D Print. Online verfügbar unter http://thor.angel-lm.com/documentation/3d-printing-guide/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.
[51] Vgl. ebd.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- ABS 0,5kg

What to look out for[52]:

- In the case of the Art1Bot, Art23Optodisk and Art4Optodisk components, it is helpful to cover the surfaces with e.g. Primer paint to be opaque Reason: serve to block the light of the optical sensor in any position, except at the slot Walls of the components are thin, light can shine through, so sealing helpful Leave the slit free

5. What print settings should be made before printing??[53]
   - large components thick layer height of 0.3mm recommended for a shorter printing time→
   - Wall thickness 3-4
   - 20% filling

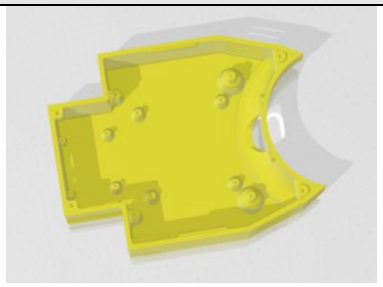
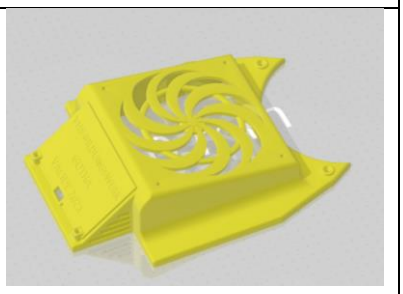
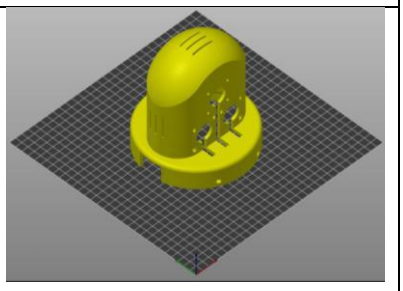
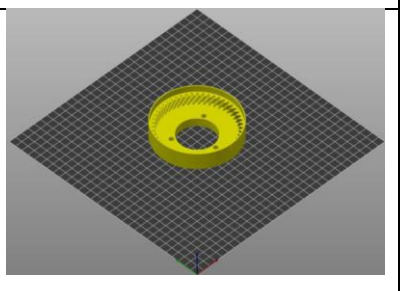
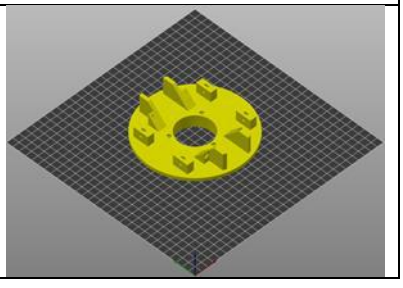
6. What is the support structure in 3D printing?[54]
   - for overhangs on the components that are above 45°, a support structure is necessary
   - for bridges that are wider than 5mm, a support structure is also necessary
   - support the component, for a better print / for a better result
   - is used for stability
   - when using support structures, more material, more printing time and more post-processing time are required

7. Would you use support structure on the parts to be printed? Justify your answer.
   - yes: individual parts have angles above 50°, so there is a need for support structures[55]

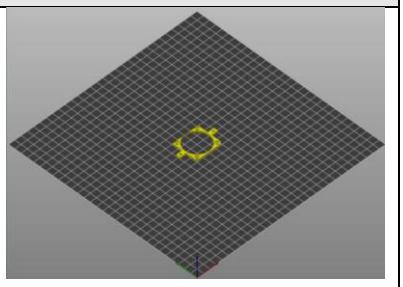
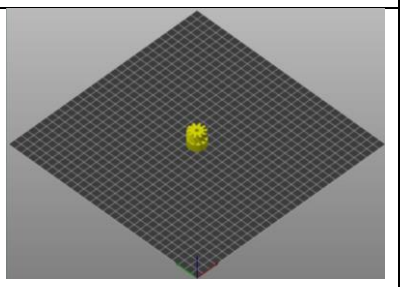
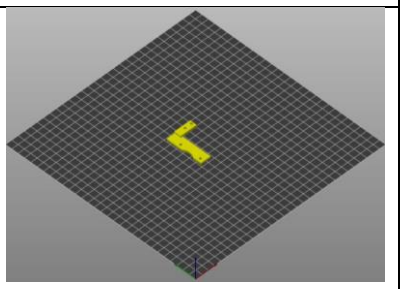
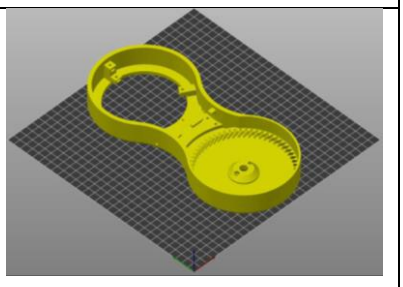
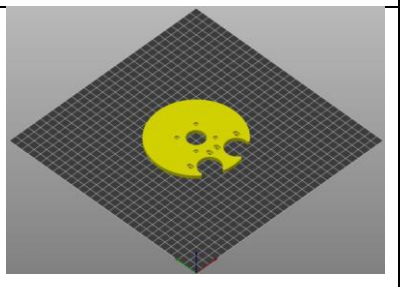
[52] Vgl. ebd.
[53] Vgl. Ángel, L. M.: 3D Print.
[54] Vgl. Martin: 3D Druck Stützstruktur Füllung. Beste Dichte & Muster. Hg. v. the3dprinterbee. Online verfügbar unter https://the3dprinterbee.com/de/3d-druck-support-dichte-muster/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.
[55] Vgl. Ángel, L. M.: 3D Print.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

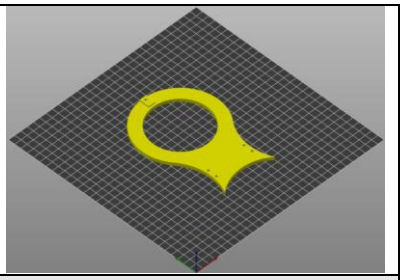
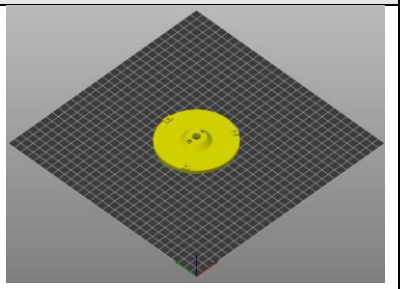
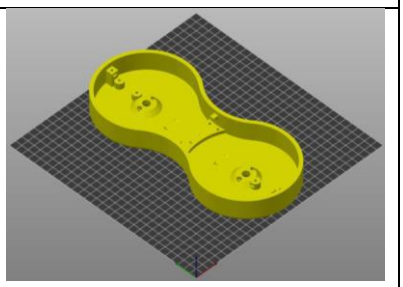
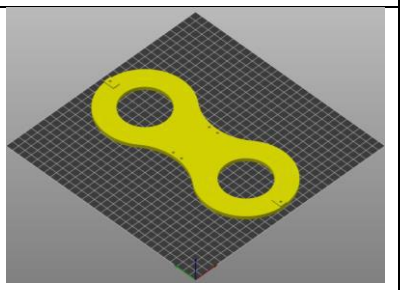
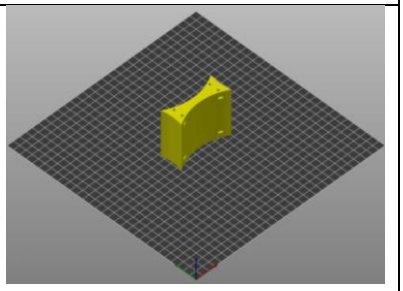
8. Versvollständigen Sie die Tabelle mit allen notwendigen Informationen bezüglich der zu druckenden Bauteile!

Pos.	Menge	Stückname	Material	Orientierung im Bauraum
1	1	BaseBot	PLA	
2	1	BaseTop	PLA	
3	1	Art1Body	PLA	
4	1	Art1Bot	PLA	
5	1	Art1Top	PLA	

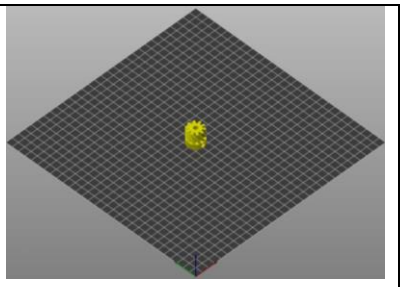
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

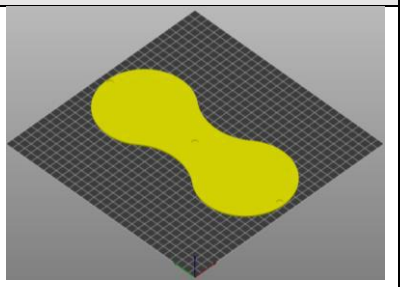
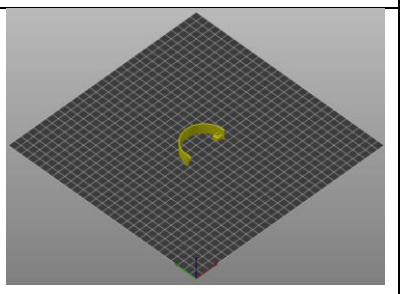
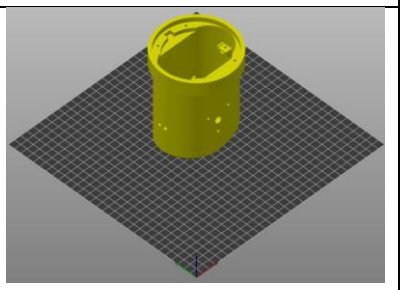
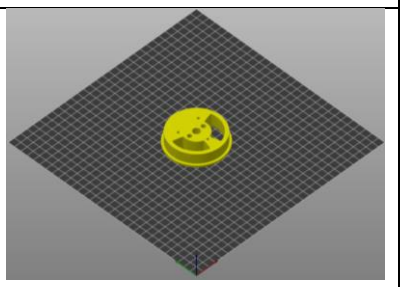
Pos.	Menge	Stückname	Material	Orientierung im Bauraum
6	2	Art1FanHolder	PLA	
7	1	Art1GearMotor	ABS	
8	1	Art1OptoFix	ABS	
9	1	Art2BodyA	PLA	
10	1	Art2BodyACover1	PLA	

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

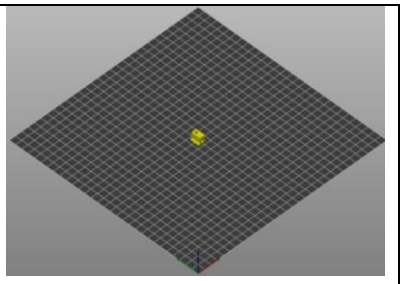
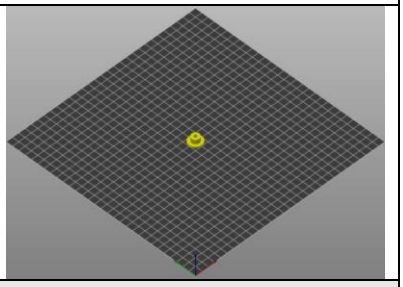
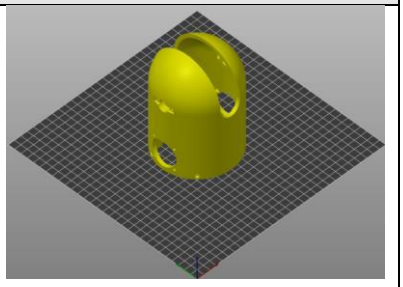
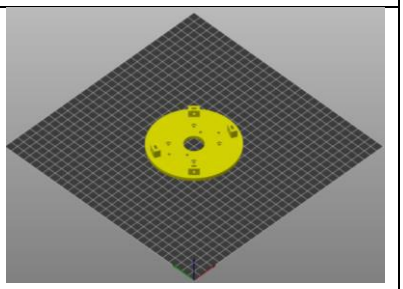
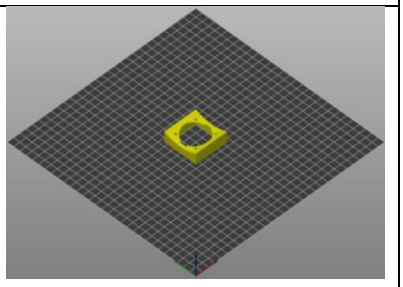
11	1	Art2BodyACover2	PLA	
Pos.	**Menge**	**Stückname**	**Material**	**Orientierung im Bauraum**
12	1	Art2BodyAWindow	PLA	
13	1	Art2BodyB	PLA	
14	1	Art2BodyBCover	PLA	
15	1	Art2BodyUnion	PLA	

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

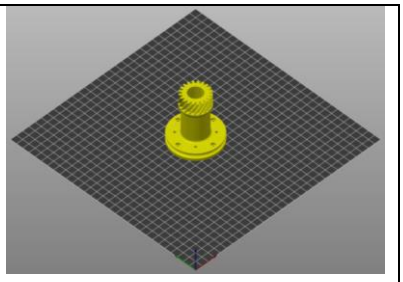
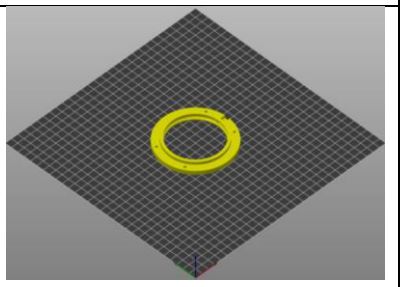
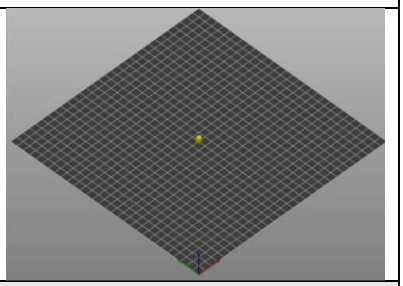
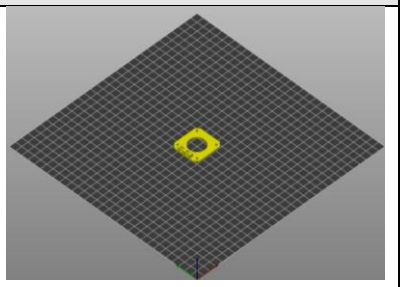
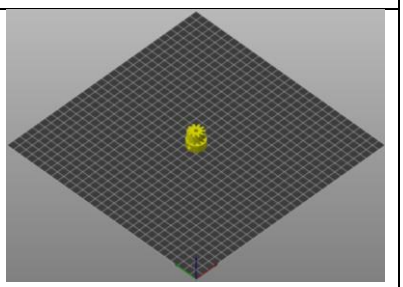
16	2	Art2MotorGear	ABS	

Pos.	Menge	Stückname	Material	Orientierung im Bauraum
17	2	Art2SideCover	PLA	
18	2	Art23Optodisk	PLA	
19	1	Art3Body	PLA	
20	1	Art3Pulley	PLA	

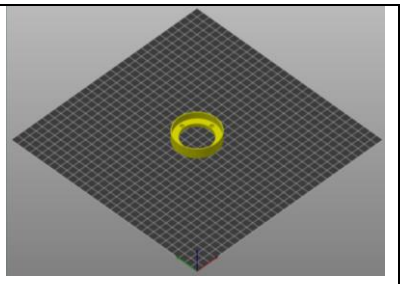
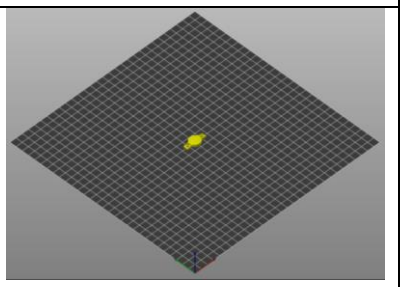
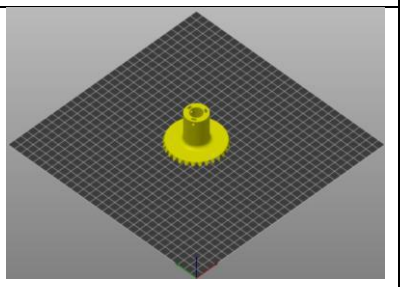
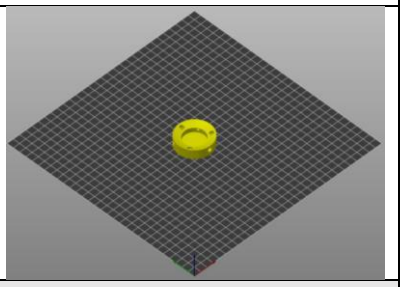
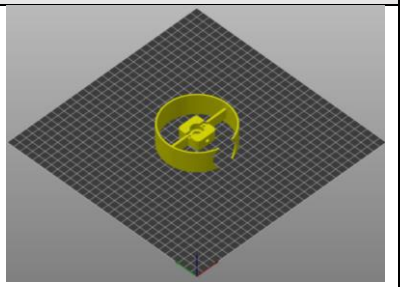
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

21	2	Art3TensionerBody	PLA	
22	2	Art3TensionerPulley	PLA	
Pos.	**Menge**	**Stückname**	**Material**	**Orientierung im Bauraum**
23	1	Art4Body	PLA	
24	1	Art4BodyBot	PLA	
25	2	Art4BodyFan	PLA	

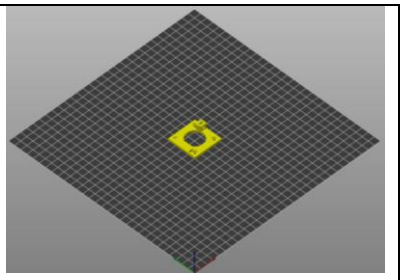
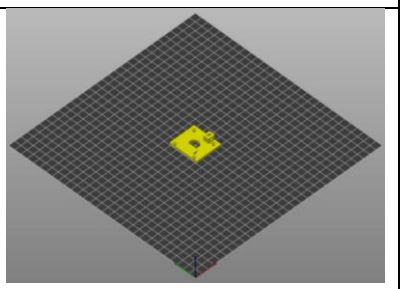
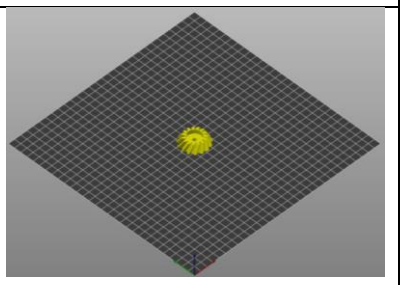
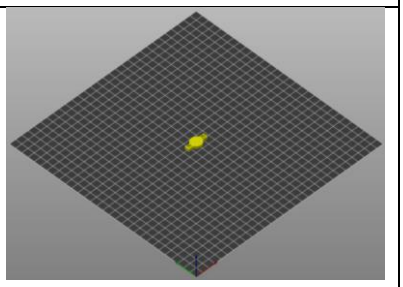
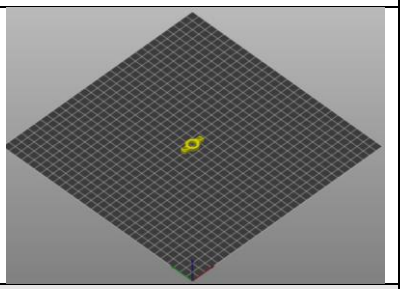
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

26	1	Art4TransmissionColumn	PLA	
27	1	Art4BearingRing	PLA	
28	1	Art4BearingPlug	PLA	
Pos.	**Menge**	**Stückname**	**Material**	**Orientierung im Bauraum**
29	1	Art4MotorFix	ABS	
30	1	Art4MotorGear	ABS	

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

31	1	Art4Optodisk	PLA	
32	2	Art4BearingFix	PLA	
33	1	Art56GearPlate	PLA	
34	1 (optional)	Art56Interface	PLA	
Pos.	**Menge**	**Stückname**	**Material**	**Orientierung im Bauraum**
35	1	Art56MotorCoverRing	PLA	

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

36	2	Art56MotorHolderA	ABS	
37	2	Art56MotorHolderB	ABS	
38	2	Art56SmallGear	PLA	
39	4	CommonBearingFix	PLA	
40	4	CommonBearing-FixThrough	PLA	
Pos.	**Menge**	**Stückname**	**Material**	**Orientierung im Bauraum**

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

41	Greifer links Greifer rechts Basis Basis-halte-rung Zahnrad	Gripper/ Greifer	PLA	

Tabelle beruht auf eigenen Darstellungen und auf Ángel, L. M.: 3D Print.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Teil 3: Installation of the robot arm

After you have answered all the questions and the supervisor is enthusiastic about your level of knowledge, he will give you the task of showing you the mechanical and electronic assembly of the robot arm. This is intended to enable other trainees to set up the robot arm themselves with the help of your instructions. To do this, use all the information already worked out in the previous tasks.

1. Preparatory work for connecting the individual electrotechnical components to the PCB boards

Timeframe:	3 hours
Task type:	Group task
Information sources:	Crimping

Task:

You have already dealt with the composition of the motherboard. Now explain how you will be able to connect the components on the motherboards step by step. What is it all about?
(e.g. when crimping the servo cables)?

Solution idea – the most important points:[56]

- Crimp the cable properly yourself so that there is no interference
- Material: pliers for crimping and stripping, crimp contacts, servo connectors
- What to look out for:
  - stripping max. 3mm
  - Insert the cable into the correct crimp area
- Process:
  - Stripping of the cable
  - Twisting the veins
  - Place the crimp contact in pliers and close the pliers a little
  - Insert the cable into the front crimp area
  - Close pliers

[56] Cf. Schmidt, R.: Crimpen. Crimping "normal" cables (24-30AWG). Available online at http://www.rein-hartschmidt.de/flieger/Technik/Stecker/Crimpen/, last checked on 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. Test run of the (stepper and servo) motors

Timeframe: 2 hours
Task type: Group task
Information sources:

Task:

1. What measuring devices can you use to prove the proper functioning of the motors and why is this process necessary?
   - Multimeter[57]
   - Spectrum Analyzer[58]
   - are used for voltage and bandwidth measurement as well as display

2. How do you manage to control the motors in this test run? Explain this briefly.
   - Control of the motors via GUI (Graphical User Interface)
   - Via direct G-code input (e.g.: G1 X200 F1500)

3. What parameters make for a successful test run?
   - This task is to be solved with the knowledge that has been acquired in the training so far. It is intended to be used for active thinking and for linking previous information with the new subject area.
   - Same operating voltage values of the motorsSynchronicity of the motors (flag test)
   - no signal gaps
   - Detection and evaluation of the smallest fault currents
   - Successful homing run

[57] Cf. Hack, C. (2019): The Multimeter – A Definition. Available online at https://www.e-hack.de/das-multimeter/, last checked on 20.06.2022.
[58] Cf. ComputerWeekly.de (ed.) (2016): Spektrumanalysesator. Definition. Available online at https://www.computerweekly.com/de/definition/Spektrumanalysator, last updated on 2016, last checked on 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. Thor's Assembly

This task serves to test the theoretical understanding of the trainees with regard to the assembly of assemblies and components into machines and systems. With the help of the learning sequence, the trainees should show that they understand the information material they have worked out so far and can explain the assembly by means of the visualization.

Timeframe:	4 hours
Task type:	Group task
Information sources:	Learning sequence complete assembly Time-lapse assembly https://github.com/AngelLM/Thor https://hackaday.io/project/12989-thor

Task:

You've found an interactive guide to assembling Thor's components. Your task now is to use this sequence to present the assembly of Thor and explain the process step by step. It would also be conceivable that you record the instructions for the sequence and present them in this way.

Summary of key points:

- Assembling "the base"
  - Gear to motor, insert M3 nut into gear, fix gear with a short screw on motor shaft, tighten
  - Attaching the fan to the base (4x M3 screw)
  - Attach the motor to the base Remove 4 screws from the motor, take longer ones, screw to the base→
  - Insert M3 nuts into the appropriate holes of the base
  - Attach the limit switch to the bracket in the base with 2 screws
  - Attach box for power supply etc. to base with 4x m4 screws
  - Laying cables
  - on the part driven by the motor, insert 3xM3 nuts, fix with a little glue
  - Part is placed on the base
  - On it part with integrated bearing holes of the part and the base coincide→
  - thin disc with matching 3 holes, fasten everything from it with M3x35 screws→
  - Fasten the lid from the joint, fasten with 3x M3x39 screws, can now rotate →→
  - first test to see if the motor is turning (connect everything and start it)

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- Assembling the gripper
  - M3 nuts in the holes provided
  - Power supply

- Assembly of the joints
  - Putting gears together
  - Assembly of the center block
  - Insert bearings, attach the "lid" to them
  - Bearing with screw in the large gear, which is then attached to the "ring"→
  - everything in the joint housing, all caps on it
  - then prepare the engine, put the supports on it, fasten it with M3 screws (remove the old screws of the engine for this)→
  - Fasten the belt bolt on the engine, place nuts in the holes provided for this purpose
  - Insert a three-core cable through the hole in the housing
  - Insert the motor into the slots provided in the housing, clamp the belt
  - Check that everything is moving correctly
  - Lead the fan cable into the chassis
  - Lead all cables through the lid, put the lid on, fasten with 4x M3 screws, attach to the sides as well
  - Attach the fan with 4x M3 screws each

- Assembly of the central axis (arm)
  - place all M3 nuts in the holes
  - Prepare the engine (supports on it, belt screw on it)
  - Install bearings in the round piece, cover with caps, screw
  - Assembling the central axis
  - Insert the cable from the joint through the axis, screw the axle to the joint
  - Insert the ring with slots on the axle, then attach the "ring"
  - Main housing: place all M3 nuts, put bearings in the hole, cap on it
  - Attaching the fan in the main case
  - Laying cables through the housing
  - Attaching the motor to the main housing
  - Placing limit switches, routing cables correctly
  - Main housing with joint connect with 4x 18mm M3 screws
  - screw the last parts to the outside of the housing

- Assembly of the 2nd joint
  - Place nuts in the last parts, insert bearings, place lids on top
  - Fasten parts to the arm step by step, laying cables in the process

1. Final assembly

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- Pull the cable through the joint, connect the last pieces
- Installing motors, placing pulleys on built-in motors, placing and fastening belts
- place bearings in the housing, then put them on, screw them together
- Lay all cables in the base, close the lid of the base
- Put your arm on the base, screw it on
- fully assembled
- Connecting the gripper, fastening itATTENTION: The initial commissioning of the robot arm (under voltage) must be carried out by a trained specialist (teacher)!

Part 4: Programming

This last part of the guiding text is about using the collected knowledge. It is important that final adjustments can be made and that the robot arm can be made ready for use. With the help of the following tasks, your understanding will expand to make Thor operable.

1. Preparation

The purpose of this task is to make essential preliminary considerations in order to understand how the subsequent software and firmware can be put into operation.

Timeframe:	2 hours
Task type:	Group task
Information sources:	G-code What is a G-code? bootable Boot Process (techtarget.com) Step-by-step: Make USB stick and SD card bootable UNetbootin - Homepage and Downloads
Learning sequence:	"Make SD card bootable"

Task:

1. What is meant by a "GCODE"? Refer to the RepRap firmware, as this is also used for Thor. Give a brief overview. Also, complete the table below to give the letters of the G-code their meaning.[59]

1. Various process steps from component design to post-processing, for example, that the model in question must be processed in cutting software (slicer)→

[59] Vgl. P., Regina (2021): Was ist ein G-Code und welche Rolle spielt dieser für den 3D-Druck? Hg. v. 3Dnatives. Online verfügbar unter https://www.3dnatives.com/de/was-ist-ein-g-code-3d-druck-290920211/#!, zuletzt geprüft am 20.06.2022 und Vgl. RepRap (Hg.) (2022): G-code. Online verfügbar unter https://reprap.org/wiki/G-code, zuletzt aktualisiert am 2022, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- in the slicer, the STL file is converted into a control file for the 3D printer, this file is created from the G-code→
- G-code = programming language that allows the machine to understand which commands to follow in order to manufacture the part layer by layer
- G-code consists of G and M commands, each of which is assigned a movement/action
- Combination of these commands makes it possible to understand which pattern it must follow in order to produce the final part
- Codes for the printhead movements follow the NIST RS274NGC G-code standard RepRap firmware also suitable for CNC milling and similar applications→
- Different ways to prepare G-code
    - Method 1: Using a slicing program import a CAD model, break it down into layers, and output the G-code required to print each layer→
    - Method 2: Using a lower-level library allows for fine-grained control over the tool-path and is therefore useful→
    - Method 3: Write G-code yourself best choice for test lines in calibration

- Example of typical G-code:

```
N6 G1 F1500
N7 G1 X2.0 Y2.0 F3000
N8 G1 X3.0 Y3
```

- G-code can also be stored in files on SD cards
    - File with RepRap G-code usually has the extension .g, .gco or .gcode
    - Files for BFB/RapMan: .bfb extension
- Example of a G-code stored in a file or generated by a slicer:

```
G92 E0
G28
G1 F1500
G1 X2.0 Y2.0 F3000
G1 X3.0 Y3.0
```

- RepRap G-code is a list of fields separated by spaces or line breaks
- a field can be interpreted as a command, parameter, or any other special purpose
- consists of a letter, directly followed by a number, or can be just a single letter (flag)
- Letter provides information about the meaning of the field
- Numbers can be integers (179) or fractions (14,22)

Letters	Meaning
Gnnn	Standard G-code command, e.g. drive to a point
Mnnn	RepRap-defined command, e.g. turning on a fan

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Tnnn	Selection of the nnn tool
Snnn	Command parameters, e.g. time in seconds; Temperatures; Voltage to be sent to a motor
Pnnn	Command parameters, e.g. time in milliseconds; proportional (Kp) in PGD tuning
Xnnn	An X-coordinate that is normally to be approached (integer or fractional number/stepper motor control)
Ynnn	A Y-coordinate that is usually to be approached (integer or fractional number/stepper motor control)
Znnn	A Z-coordinate that is usually to be approached (integer or fractional number/stepper motor control)
U,V,W	Zusätzliche Achsenkoordinaten /Ansteuerung Stepper-Motor
Innn	X-offset on arc movement; Integral (Ki) at PID Tuning
Jnnn	Y-offset in the arc movement
Dnnn	used for diameter; Derivation (Kd) in the PID vote
Hnnn	used for the heating number in the PID tuning
Fnnn	Vorschubgeschwindigkeit in mm pro Minute (Geschwindigkeit der Druckkopfbewegung)
Rnnn	used for temperatures
Qnnn	currently not in use
Ennn	Length of the extrudate exactly like X, Y and Z, but for the length of the filament to be consumed→
Nnnn	Line number used to request retransmission in case of communication failures→
*nnn	Prüfsumme → verwendet, um auf Kommunikationsfehler zu prüfen

Table according to RepRap (ed.) (2022): G-code.

2. How to make an SD card bootable?

a) What does it mean to make something bootable??[60]

- bootable = be able to perform a boot operation

[60] Vgl. Online-Wörterbuch Wortbedeutung.info (Hg.): bootfähig. Online verfügbar unter https://www.wortbedeutung.info/bootf%c3%a4hig/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- = The process by which a computer loads an operating system into the main memory/random access memory (RAM) after the operating system is loaded, the computer is ready to run applications →
- Reboot = restart the operating system

b) How does this work with an SD card in the Windows operating system? Explain this by using the learning sequence "Make SD card bootable".[61]

- Connect the SD card to the computer
- Right-click on the Windows icon in the bottom left corner
- Click Run
- In the command box, type cmd and press Enter
- Now type diskpart and press Enter
- In the new window, type list disk
- Now find your SD card in the list
- Now enter select disk X and confirm with Enter (x= SD name according to the list)
- Now enter a Clean
- Now type Create Partition Primary
- Now enter an Active
- Now enter a format Fs= NTFS Quick
- Now enter an Assign
- Now give an exit
- Now mount the ISO file (right-click on the image and select Mount)
- Now enter the command G: CD BOOT (G is the drive letter of the ISO)
- Now enter the command EXE/NT 60 F (F is the drive letter of the SD card)
- Copy all the files of the ISO to the memory card
- Now the SD memory card is in bootable state

c) Why is this necessary for the use of Thor??

- This question is thought-provoking and intended to promote communication in the groups. Together, a justification in this regard is to be sought and considered.
- Making the SD card bootable is therefore necessary, since the Raspberry uses the SD as the operating system in conjunction with the control boards and it is also used as a hard disk.
- Files generated by the RepRapFirmware Configuration Tool are the system-relevant application files, they are a guarantee for smooth communication between software and hardware (sensors and actuators).

[61] Cf. ComputerWeekly.de (ed.) (2016): Boot-Process. Definition. Available online at https://www.computerweekly.com/de/definition/Boot-Vorgang, last updated on 2016, last checked on 20.06.2022, UNetbootin. Available online at http://unetbootin.github.io/, last checked on 20.06.2022 and cf. Wolski, D. (2015): USB stick and SD card bootable. Step by step. Available online at https://www.tecchannel.de/a/usb-stick-und-sd-karte-bootfaehig-machen,3201530, last checked on 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Additional task: Control software

This task promotes problem-oriented thinking on the part of the trainees. Here it is necessary that the problem is accurately identified and, with the help of the acquired knowledge about Thor, the right decision is made. This task will put a lot of strain on the ability to think.

Timeframe:1 hour
Task type:Group task
Information sources: no direct sources of information possible, as this is only recognized by trial and error

Task:

After almost everything has been completed and the final finishing touches have to be done, it turns out that the planned Asgard control software cannot be used. Unfortunately, the person who discovered the problem can't remember what it is. Please help and investigate why Asgard is not usable for our version of Thor. In addition, consider which control software is possible instead of Asgard and justify this.

- Asgard is a graphical user interface (GUI) for Thor, programmed in Python using the PyQt5 libraries62
- BUT: cannot be used, because Asgard is based on the Arduino, which cannot be used for this version (missing syntaxes)

[62] Cf. Read the Docs (ed.): Administration. Available online at https://asgard-manual.nextron-systems.com/en/latest/usage/administration.html, last checked on 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Kofinanziert von der Europäischen Union

THOR – The project work: Trainee version

more than a project work

A guiding text on the acquisition of knowledge about Thor and its creation. Version for the trainees.

Forename: _____

Name: _____

Date: _____

Apprenticeship: _____

Apprenticeship year: _____

Training: _____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Scenario: The training company ALU KG

ALU KG (340 employees) is a medium-sized company that has been successfully operating on the market for 35 years. Professional tools and equipment are developed, made ready for series production and distributed through a dealer network.

-Prologue-

The task of developing a robot arm with various gripping tools was initiated by the management of ALU KG in order to expand the product range and establish itself on the market of robotics and robotic tools.

Risk management determined that the robotic arms market posed too much risk; the uncontrollable development costs and the highly competitive sales market were the main arguments. The management reacted by breaking new ground, tendering the development of the robot arm as open source and, based on this, launching further market analyses with regard to gripping tools. The idea behind this is to save the development costs for a robot arm by using the know-how of the online community and to serve the self-generated market with its own developments of gripping tools.

Since universities, schools, independent educational institutions and private individuals are very interested in open source solutions for the robot arm for reasons of cost savings and better understanding through self-implementation (self-construction), the sales market for suitable gripping tools generates itself and is not subject to the rules of open source.

The choice of robotic arm solutions developed by the online community fell on a combination of two versions of the THOR robotic arm. This was chosen because of its wide range of applications, relatively low manufacturing and hardware costs, and its open source software. The online community also led to previously unimagined synergy effects: a factory specializing in additive and subtractive machining (Loka Professional Pro-duction-LPP) in Slovenia and a company from Italy specializing in marketing (Eucur World Wide Marketing-EWWM) agreed to contribute their know-how. This circumstance appears to the management of ALU KG as a further guarantee that their considerations will lead to the desired success. In addition, the "level of awareness" of the companies involved will be increased, which may result in unexpected positive opportunities in the future.

The head of prototype construction at ALU KG received the order to produce five THOR within eight months and make them available to the head of the development department. This step turns the THOR into a training robot on which the possibilities of gripper developments can be tested and realized. The head of prototyping is skeptical about the open source solution. He decided to implement a robotic arm in the form of project work for the time being in order to have the opportunity to identify possible errors or improvements with project management tools.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Introduction

Welcome to our Thor robotic arm project.
Thor is a printable robotic arm that is open source and has six degrees of freedom. It was designed for use in robotics classes at universities and schools, which is why the design is affordable and the source file is freely accessible.
This project is intended to enable you to independently develop and execute complex manufacturing and assembly tasks. For this purpose, you should work out the stages of configuration, installation and programming together and independently in small learning groups. Your trainer takes on the role of a trainer, which is comparable to that of a consultant in a company. He/she will be at your side to advise you while you independently search, implement and document solutions. As a team, you should:

1. look at the key questions together, draw up a work plan and submit it to the learning advisor for review;
2. answer the key questions in writing;
3. compare your solution with the control sheet and make an assessment of your solution (not in grades, but in a verbal description);
4. talk to the learning consultant about your solution;
5. Presentation of the results with a final feedback.

The technical knowledge you need to accomplish the tasks was imparted to you during your training. This knowledge must now be applied. You will find that your grown technical understanding is intuitively applicable to new technologies, such as 3D printing.
To answer the questions, you will be provided with a reasonable period of time and suitable sources.
In order to better understand and comprehend the working method in the project, there are introductory exercises. It is important that you formulate the answers yourself. A copy and paste is rated as "Unanswered".
Each part of the guide text is preceded by an overview with which you can document your learning success.

We wish you every success!

Information material, aids:

- Internet research on the topics of "robotics", "additive manufacturing"
- self-chosen literature
- digital learning sequences

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Hint

Please do not begin the lead text without first reading the following:

This guiding text is structured in such a way that your information gathering, application tasks and control are linked. Therefore, it is necessary that the tasks are processed in the given order!

A guiding text is not "rigid", but can be used in relation to the company. From this it can be deduced that individual questions can be modified, supplemented or updated.
In the event that problems arise during the project work regarding the question or the processing, these should be discussed with the learning advisor. In general, however, the guiding text must be edited and checked independently.
Your results will then be evaluated together with your learning advisor.

The decisive factor for the success achieved is not to edit the leading text as error-free as possible, but to practice how to work out a given task independently and to learn from it.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Learning sequence 1: Now please open the learning sequence "Introduction" and watch the video calmly and thoroughly.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Your scenario in this project work

You work as an apprentice mechatronics technician at ALU KG.
Her group of trainees was assigned to the Thor robotic arm project. You are now responsible for creating the first prototype of Thor with the help of this project work.
This should serve as a basis for checking the chosen open source solution and, if necessary, improving it.
Therefore, it is of great necessity to carefully work on the individual process steps and to clarify all important questions.
The importance of your work is particularly evident with regard to the further use of the robot arm as a training robot in your company.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

In Part 1: Introduction, I gain knowledge about...

- ☐ the definition and origin of *robotics.*
- ☐ Industrial robot.
- ☐ the benefits and dangers of open source.
- ☐ of the components of a robot.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Teil 1: Introduction

This first part is about gaining a first introduction to robotics. The focus is on the following areas: robotics and open source. These introductory exercises serve to ensure that the entire course is at the same level of knowledge and that new elementary knowledge about these areas is acquired.

1. Robotics

Timeframe:	2 hours
Task type:	Single task
Information sources:	Internet, learning sequence

Task

Her supervisor, the head of prototype construction, is still skeptical about a robot as an open source solution. Since you are very interested in robotics, you would like to take the initiative and educate your group of trainees about robotics. They set themselves the goal of convincing everyone of the project in order to work as a team on the development and verification of the selected version of Thor. Below you will find questions to help with this. To answer these questions, you can also use the introductory video.

1. Where does the term robot come from and what does it mean?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. What is "robotics"?

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. What is an industrial robot??

4. Where can robots be used in industry? Explain this and give 3 specific examples.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

5. When is a machine a robot? Explain this in detail and give 2 examples.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

6. What is the difference between robots and automatons, as well as robots and remote-controlled machines? Give 2 examples each of vending machines and machines.

Robot	Automats

e.g.:

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Robot	remote-controlled machines

e.g..:

7. What are important parameters of industrial robots??

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

8. How is an industrial robot constructed? In this regard, create a labeled sketch. Then explain what degrees of freedom are and draw them into your sketch.

9. Do you have robots in the company?
1) If yes: Describe which tasks are performed in your company by this robot(s) or how they are used.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2) If not: do you see a field of application in your companies?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. Open Source

Timeframe:	1 hour
Task type:	Group task 3-5 people
Information sources:	Internet

Task

After your extensive and intensive research, you have now convinced your entire project group of the topic and brought them up to a level of knowledge. However, your supervisor still doubts because the robotic arm is an open source solution. Even their group members can't do too much with the term "open source" yet. Research the questions that have arisen in small groups so that everyone can clarify the questions that arise. In addition, this serves as a basis so that you can continue to convince your supervisor of the solution variant.

1. What does open source mean?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. Name three open source applications.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

-
-
-

3. Open source is always limited to software?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

4. Is open source always free?

_____
_____
_____
_____
_____
_____

5. What dangers do or could emanate from open source solutions??

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

6. What is your opinion on open source? Please prepare arguments for a discussion.

_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. Robot

Timeframe:2 hours
Task type: Single task
Information sources: Internet
Helpful Links: Basics of Robotics
Thor Base (other version)
Robotics
Robotics

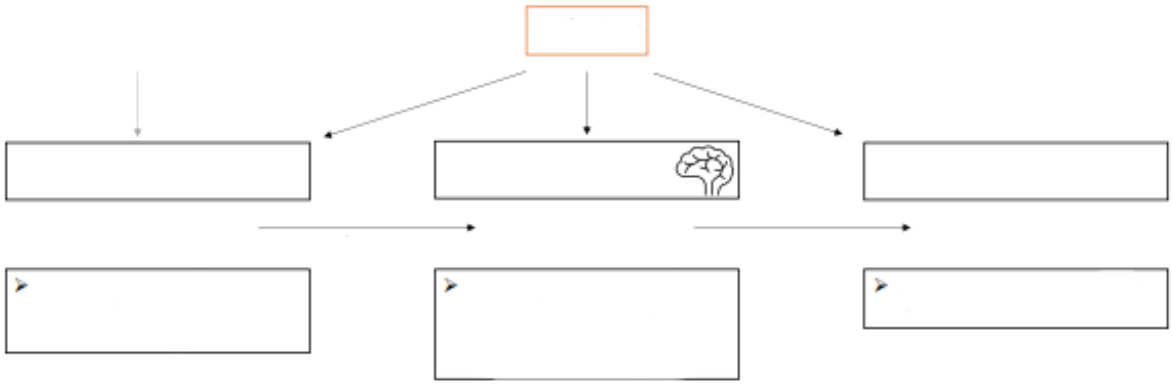
Task

Now, as a project group, you are able to explain what a robot is, how it is used, and where the information about the robot arm comes from. But it is still unclear what components this robot consists of.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

They wonder whether a robot is a large unified system or whether it consists of several subsystems. They also notice the control box. No one can explain exactly where the meaningfulness of this element is based. However, they agree that the control box would only take up space and limit the working space. In order for you to be able to answer the questions that have arisen conclusively and improve any misjudgments, please solve the tasks below.

1. What are the basic components of a robot? Address the question of whether the robot consists of one or more systems. Name and explain them briefly. To do this, use the predefined scheme and add to it.



_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. Why is the design of a control box essential?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. What is the control box and why is it of great necessity?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

4. What are PCB boards?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Kofinanziert von der Europäischen Union

In Part 2: Configuration of the Robot Arm, I gain knowledge regarding...

- ☐ of Thor's hardware, software and firmware.
- ☐ the motherboard and its schematic.
- ☐ of the necessary building materials to assemble Thor.
- ☐ generative manufacturing processes.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Part 2: Configuration of the robot arm

Now basic knowledge is consolidated. Part 2 of this project work is about the configuration of Thor. The robotic arm broadly includes technical knowledge of CAD, 3D printers, PCB design, electronics, programming and robotics. The configuration is intended to show why all this knowledge flows together in this project. With the help of a wide variety of considerations, it becomes clear which hardware components are required, which software is used in this regard and how Thor has to be assembled in general. If this is clear, it becomes clear why the Thor project brings such a large amount of knowledge with it. These steps form the basis for the assembly and assembly of the robot arm.

Note: The Total Tasks in Part 2 will be completed in the group to which they have been assigned.

4.2.2.1 Hardware, software and firmware for the robot arm

Timeframe:	1 hour
Task type:	Group task
Information sources:	Internet
Helpful link:	Thor (other version) Thor (other version) Duet3 Motherboard Duet3 Motherboard

Her supervisor and her project group are now convinced of the project. As a result, your motivation begins to increase and you finally want to start putting the project into practice. However, you can't just get started, because before the robot arm can be built, you need a listing of all the necessary materials. In order for this list to be complete, please examine the following areas:

1. What hardware is needed? Justify your answer.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. What software is needed? Justify your answer.

3. What firmware is needed? Justify your answer.

2. Robot arm mainboard

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Timeframe:	7 hours
Task type:	Group task
Information sources:	Internet
Helpful Links:	https://reprapworld.de/ Thor Electronics

Motherboard no longer in production:
Ultratronics Pro v1.0

Alternatives Mainboard:
Duet 2 Wifi controller card
Duet 3 Mainboard 6HC
Duet3
RADDS v1.6

Task

They find out that the motherboard used there (Ultratronics Pro v1.0) for the prototype of the robot arm will no longer be available for an indefinite period of time. However, you know the importance of this project for your company and sat down with your team to solve the following task:

1. For which task was the Ultratronics Pro v1.0 originally developed?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. Why has this board also been usable for the robot arm construction?

_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

_____
_____
_____
_____
_____
_____

3. How could an alternative procurement to this motherboard be accomplished and what is important? Agree on an alternative in your group.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

4. In this regard, make changes in "1. Hardware, software and firmware for the robot arm".

5. To do this, make a layout design of the electronic circuit (wiring diagram).
Justify your decision (which parameters did you pay attention to and why?).

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. Building materials for the robot arm

Timeframe:2 hours
Task type:Group task
Information sources:Internet
Helpful link: Thor (other version)
Duet 3 Motherboard

Task:

What building materials are needed to assemble Thor?
In this regard, create a parts list with all components to be purchased (e.g. belts, bearings, components of the control board). Note: Please note that not all components shown on the website in the Thor documentation have been used. To do this, use your notes from the previous tasks.

Pos.	Quantity	Unit	Benennung	Part number/ standard abbreviation	Remark
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

13					
14					
15					
16					

Pos.	Quan-tity	Unit	Naming	Part number/ stand-ard abbreviation	Remark
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
Pos.	**Quan-tity**	**Unit**	**Naming**	**Part number/ stand-ard abbreviation**	**Remark**
40					
41					

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

4. Additive manufacturing processes

Time: 5 hours
Task type:Group task
Information sources:Internet
Learning sequence:"Process chain"
Helpful Links: Definition of Additive Manufacturing
Basic concepts of additive manufacturing
generative manufacturing processes
3D printing parts Thor (other version)
FDM
Thor (other version)
Support structure
FDM, SLA, SLS
FDM vs. SLA
Manufacturing process

After you have listed all the necessary materials, your supervisor will notice that the components of the robot are not listed. He wonders how the "body" is created. Since you are currently dealing with the topic, you decide to do some more research to clarify his questions. To do this, please address the following questions:

1. What is a layered construction method?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

2. Explain the process chain of a generative manufacturing process. Take a look at the attached learning sequence.

_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

3. What generative manufacturing processes are there? Name and describe SLA, SLS, and FDM procedures. Which one would you choose to print the components? To better understand the processes, you will be particularly helped by the videos available on the pages FDM, SLA, SLS, FDM vs. SLA and manufacturing processes .

a) SLA procedure

b) SLS process

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

c) RDM process

4. Filament

a) What standard filaments are there and which one would you use for the components, justify this.

b) How much filament is needed? What to look out for during/after printing?

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

5. What print settings should be made before printing??

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

6. What is the support structure in 3D printing?

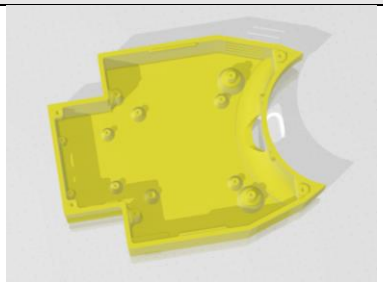
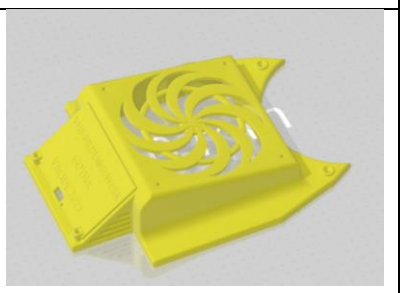
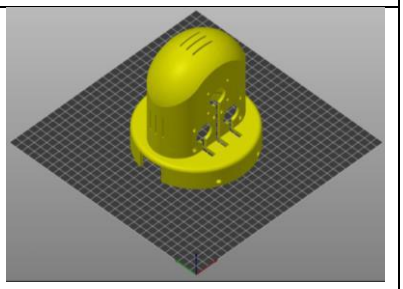
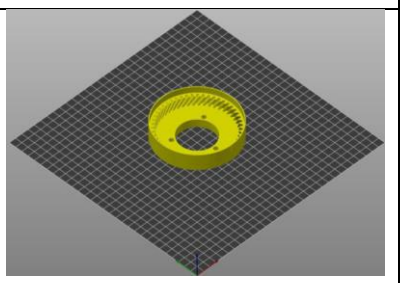
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

7. Would you use support structure on the parts to be printed? Justify your answer.

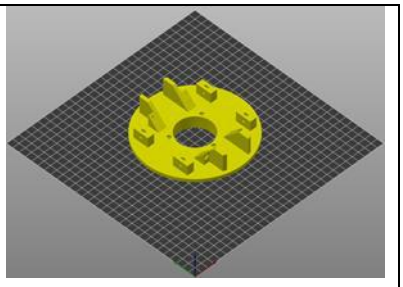
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

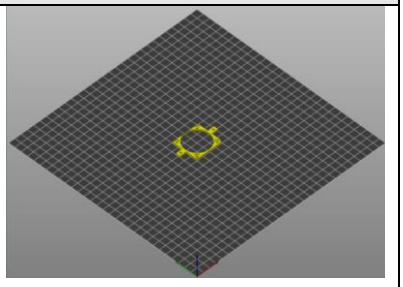
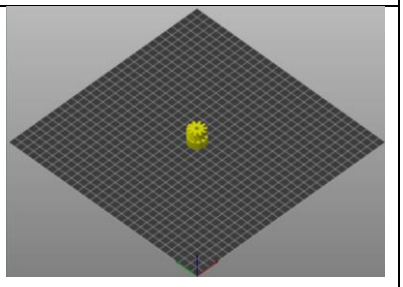
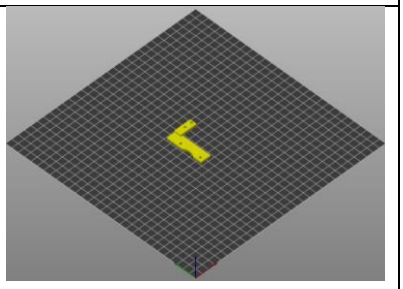
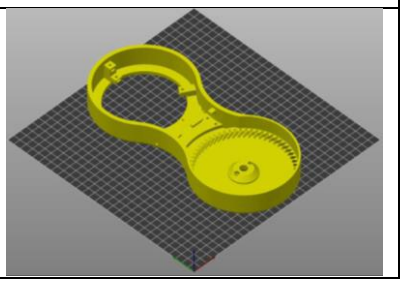
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

8. Versvollständigen Sie die Tabelle mit allen notwendigen Informationen bezüglich der zu druckenden Bauteile!

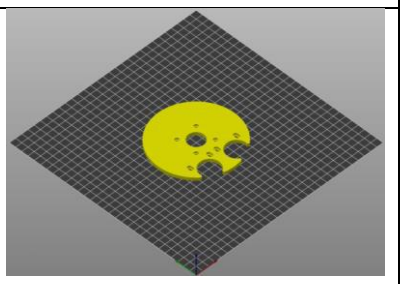
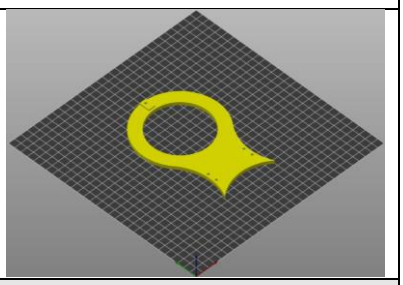
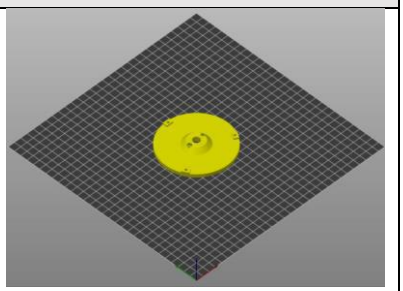
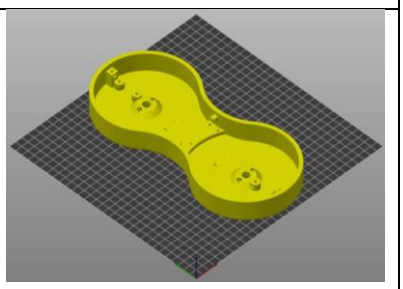
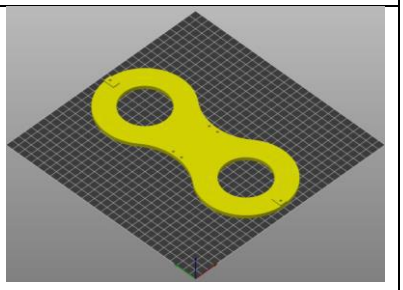
Pos.	Quantity	Unit name	Material	Orientation in the installation space
1	1	BaseBot	PLA	
2				
3				
4				

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

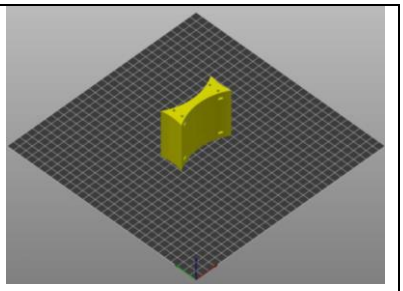
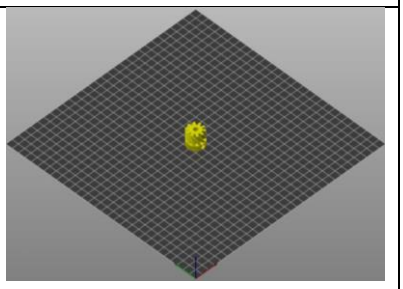
5				

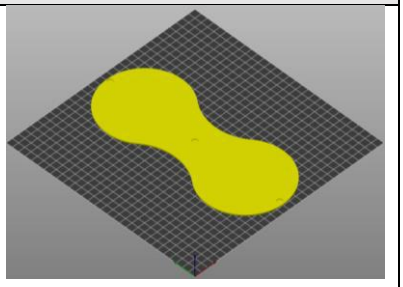
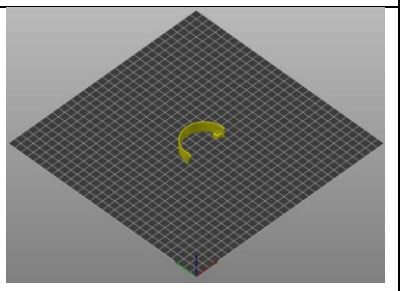
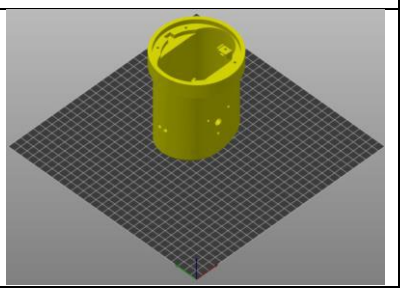
Pos.	Quantity	Unit name	Material	Orientation in the installation space
6				
7				
8				
9				

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

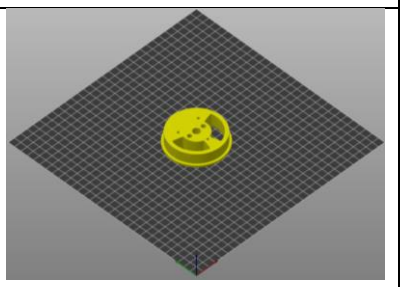
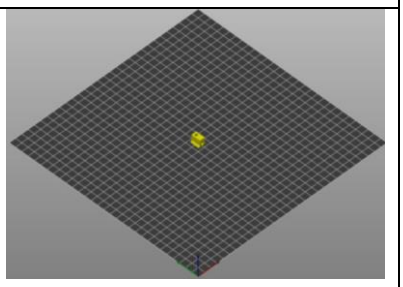
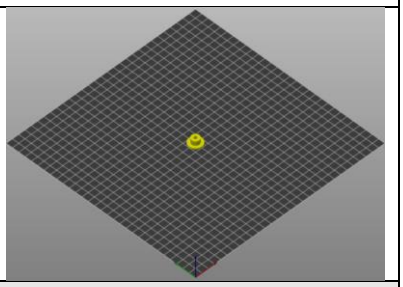
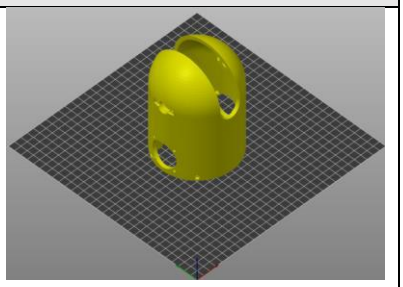
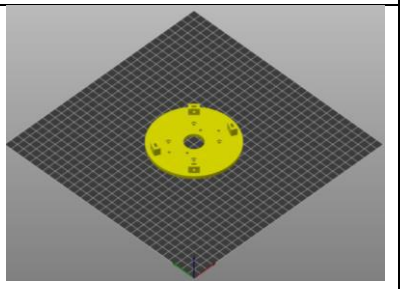
10				
11				
Pos.	**Quantity**	**Unit name**	**Material**	**Orientation in the installation space**
12				
13				
14				

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

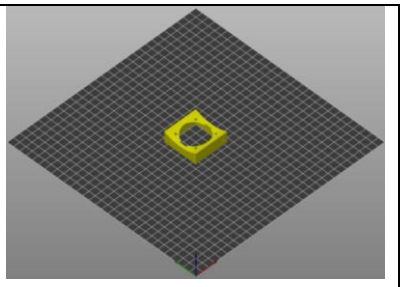
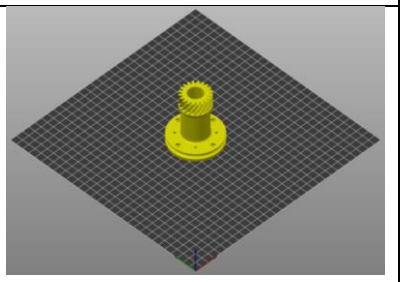
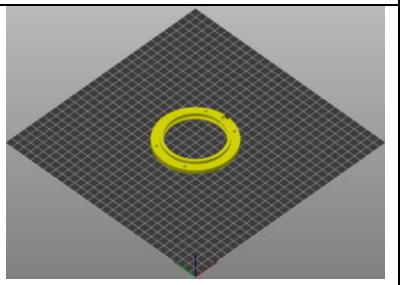
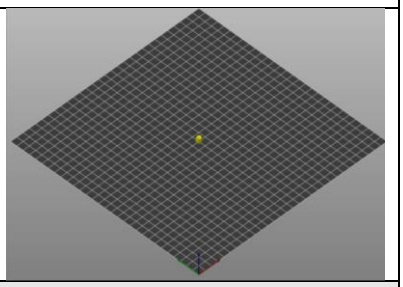
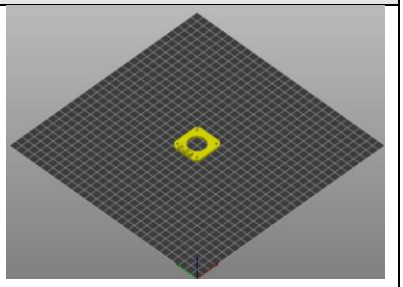
15				
16				

Pos.	Quantity	Unit name	Material	Orientation in the installation space
17				
18				
19				

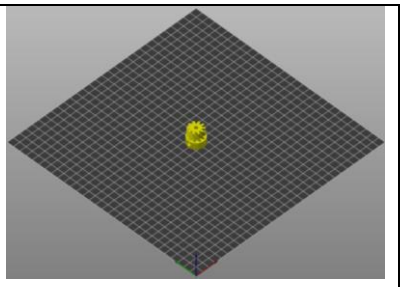
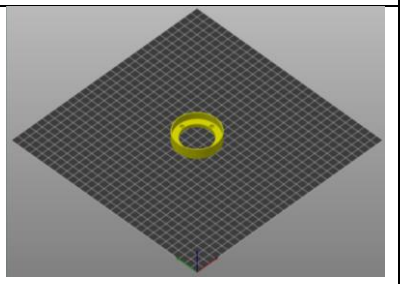
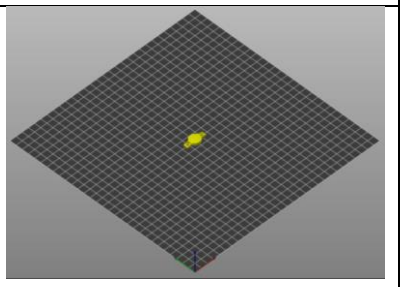
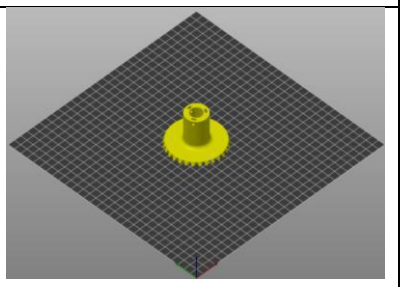
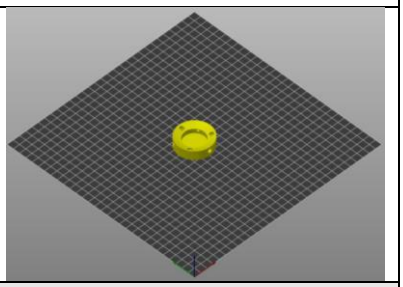
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

20				
21				
22				
Pos.	**Quantity**	**Unit name**	**Material**	**Orientation in the installation space**
23				
24				

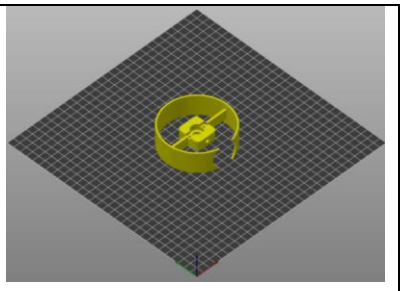
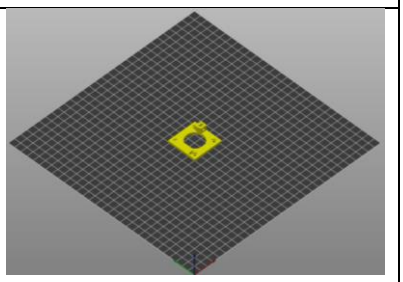
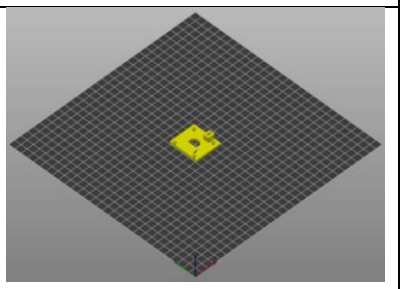
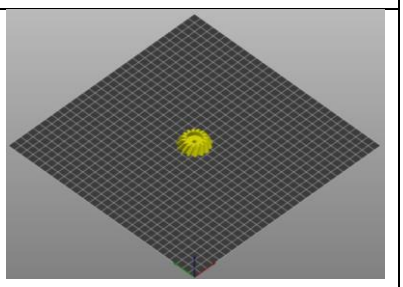
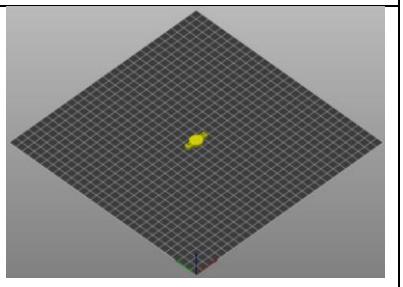
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

25				
26				
27				
28				
Pos.	**Quantity**	**Unit name**	**Material**	**Orientation in the installation space**
29				

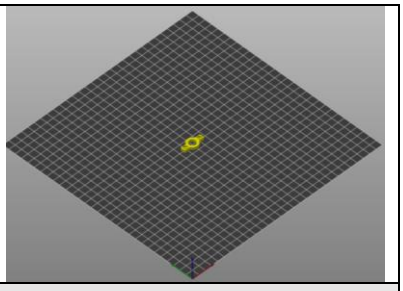
Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

30				
31				
32				
33				
34				
Pos.	**Quantity**	**Unit name**	**Material**	**Orientation in the installation space**

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

35				
36				
37				
38				
39				

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

40				
Pos.	**Menge**	**Unit name**	**Material**	**Orientation in the installation space**
41				

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Kofinanziert von der Europäischen Union

In Part 3: Installation of the Robotic Arm, I gain knowledge regarding...

☐ Preparation and execution of the connection of the electronic components.

☐ Testing of electronic components.

☐ the complete assembly of the robot arm.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Part 3: Installation of the robotic arm

After you have answered all the questions and the supervisor is enthusiastic about your level of knowledge, he will give you the task of showing you the mechanical and electronic assembly of the robot arm. This is intended to enable other trainees to set up the robot arm themselves with the help of your instructions. To do this, use all the information already worked out in the previous tasks.

1. Preparatory work for connecting the individual electrotechnical components to the PCB boards

Timeframe:	1 hour
Task type:	Group task
Information sources:	Internet, trainers

Task:

You have already dealt with the composition of the motherboard. Now explain how you can connect the components on the motherboards step by step. What do you have to pay attention to (e.g. when crimping the servo cables)?

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

2. Test run of the (stepper and servo) motors

Timeframe: 2 hours
Task type: Group task
Information sources: Internet

Task:

After all components are linked to the motherboards, the motors can be tested. But what is necessary for this? Please answer the following questions.

1. Which measuring devices can you use to prove that the motors are working properly and why is this process necessary?

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

_____
_____

2. How do you manage to control the motors in this test run? Explain this briefly.

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

3. What parameters make for a successful test run?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

3. Thor's Assembly

Timeframe:	4 hours
Task type:	Group task
Information sources:	Internet, learning sequence
Helpful Links:	complete assembly: https://www.youtube.com/playlist?list=PL0HtuDn0Yw6OHHFDpsxKpa58T7-p_8vBK Time-lapse assembly: https://www.youtube.com/watch?v=uUu5Fq1CP_M

Learning sequence:

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Task:

You've found an interactive guide to assembling Thor's components. Your task now is to use this sequence to present the assembly of Thor and explain the process step by step. It would also be conceivable that you record the instructions for the sequence and present them in this way.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

In Part 4: Programming, I gain knowledge regarding...

- ☐ the understanding of a G-code.
- ☐ the process of making an SD card bootable.
- ☐ of the control software compatible with *our* robotic arm.
- ☐ the setup and application of the control software.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Part 4: Programming

This last part of the guiding text is about using the collected knowledge. It is important that final adjustments can be made and that the robot arm can be made ready for use. With the help of the following tasks, your understanding will expand to make Thor operable.

1. Preparation

Timeframe:2 hours
Task type:Group task
Information sources:Internet
Learning sequence: "Make SD card bootable"
Helpful Links: G-code
What is a G-code?

Task:

1. What is meant by a "GCODE"? Refer to the RepRap firmware, as this is also used for Thor. Give a brief overview. Also, complete the table below to give the letters of the G-code their meaning.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

_____
_____
_____
_____
_____

Letters	Meaning
Gnnn	
Mnnn	
Tnnn	
Snnn	
Pnnn	
Xnnn	
Ynnn	
Znnn	
U, V, W	
Innn	
Jnnn	

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Dnnn

Hnnn

Fnnn

Rnnn

Qnnn

Ennn

Nnnn

*nnn

2. How is an SD card made bootable? To do this, use the learning sequence "Make SD card bootable".

a) What does it mean to make something bootable?

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

b) How to do this with an SD card? Explain this.

c) Why is this necessary for the use of Thor (incl. configuration)?

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Additional task: Control software

Timeframe: 2 hours
Task type: Group task
Information sources: Internet

Task:

After almost everything has been completed and the final finishing touches have to be done, it turns out that the planned Asgard control software cannot be used. Unfortunately, the person who discovered the problem can't remember what it is. Please help and investigate why Asgard is not usable for our version of Thor. In addition, consider which control software is possible instead of Asgard and justify this.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Definitions

Degrees of freedom of a robot arm

Degrees of freedom indicate how many driven and independent movements a workpiece/tool attached to the robot can perform compared to a fixed coordinate system.

Control box

- offers space for the electronic components (e.g. circuit board)
- these regulate or control all other components
- without a control box, it is not possible to run functions
- The "brain" of a machine, so to speak

Printed circuit board

- is used for the assembly of individual electrical components
- usually copper or silver coated thin plate with holes through which the terminals of the components are inserted for further soldering

PCB Board

- printed circuit board = PCB = the mainboard 'itself'
- Carrier for electronic components
- is used for mechanical fastening and electrical connection
- consists of electrically insulating material with adhering and conductive connections (= conductor tracks)

Mainboard

- is the motherboard
- on it are all the elements to control the connected hardware
- ensures the data exchange of the individual components
- Quasi "the nervous system" of a machine

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Hardware

- Entirety of the technical-physical parts of a data processing system
- All devices that can be connected
- Everything you can touch

Software

- non-technical-physical functional component of a data processing system (such as operating system and other [computer] programs)
- Everything you can't touch

Firmware

- All of the programs that are part of a computer's hardware, stored by the manufacturer on fixed-value memory and cannot be modified by the user
- performs the basic functions
- is not modifiable by the user

Layer construction processes/ additive manufacturing

- Component is made from many individual layers on top of each other
- The desired geometry is created by joining solid elements together
- all bodies are always cut into slices and can be rebuilt from them
- generative manufacturing processes automate the scheme creating the single layer, joining the layers together layer by layer in the correct order

CAD

1. Computer-aided design, i.e. design of products with computer-aided graphics creation
2. Computer-aided creation and modification of geometric models and shapes
3. Used for the design, representation and simulation of components and assemblies
   - 3D and 2D constructions can be produced

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

STL-Format

- Industry-standard data transfer format
- Used to interact with Quickparts
- The surface of an object is represented by triangles
- Almost any modern CAD system can produce an STL file
- Stores the information of a 3D model with the help of small triangles
- The more complex a model is, the more triangles
- These triangles only describe the geometry, not the texture, color, or material
- The component is then displayed as a grid

Triangulation

- Optical distance measurement by means of angle measurement within triangles

Slicer

- Cutting software
- Makes the file printable for 3D printing
- Cuts the grid of the STL file into horizontal layers and describes the travel of the print head for each layer
- Outputs the G-code for 3D printing, so to speak

Process chain of additive manufacturing processes

1. Create a computer-internal 3D CAD data set that reproduces the component
   - Modeling the solid model
   - Design guidelines must be observed
2. Conversion to an STL file
   - Konvertierung über Triangulation
   - is a neutral exchange format, non-standard, de facto industry standard
3. Component orientation, support structure, slicing process
   - Influence of component orientation: on component accuracy, surface finish, mechanical-technological properties, support structure, construction time, post processing, costs
   - Stützstruktur nötig für: überhängende Strukturen, Hinterschnitte, Hohlräume etc., funktionale Baugruppen
   - Slicing process includes, among other things, the G-code generator, geometric layer information, layer height, fill level, speed and scaling
4. Preparation of the machine (2nd-4th construction process preparation)

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

5. Physical manufacturing

6. Removal of the physical model (5th-6th construction process)

7. Post-processing

8. Use of the physical model

SLS process

- Selective Laser Sintering (SLS), Selektives Laser Sintern
- Layers are fused together by means of high-power lasers (Co2 lasers) under an inert gas atmosphere
- Manufacturing process:
  - Building platform is lowered by one layer height
  - By means of a squeegee/roller, a layer of powder is applied to the building platform below a precisely defined height
  - danach erfolgt der Belichtungsprozess mittels Laserstrahlung
  - die Bauplattform bewegt sich erneut eine Layerhöhe herunter und der Prozess beginnt von vorn
- This makes it possible to process plastics, metals, ceramics, sand
- Properties:
  - very high acquisition costs for the machine, therefore not of use for training purposes etc.
  - Printing material in powder form
  - Very precise temperature control required in the installation space
  - beheizter Bauraum
  - Limited installation space

SLA-Procedure

- Stereolithography
- The starting point of this manufacturing process: a basin filled with liquid photopolymer
- Special property of the special plastic: it solidifies after a certain exposure time below a certain wavelength
- To produce objects, the individual layers of a 3D model are projected onto the surface of the liquid material using a laser and a movable print bed is positioned under its surface
- Manufacturing process:
- die einzelnen Layer eines 3D-Modells werden mithilfe eines Lasers auf die Oberfläche des flüssigen Materials projiziert, unter dessen Oberfläche ein bewegliches Druckbett positioniert wird

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

    - the first layer solidifies and attaches the object to the print bed underneath
    - then the build platform is moved down by the height of one layer so that liquid material can collect above it again, the layer thickness of the photopolymer is precisely adjusted by a wiper arm, then the exposure of the next layer takes place
    - after the construction process, the hardened object is removed from the bath, freed from the support structure and excess resin and cleaned
    - This is often followed by post-exposure in a UV exposure chamber until complete curing
- Properties:
    - high material costs
    - high print quality and accuracy
    - Support material needed
    - Devices are limited in the installation space
    - long printing times

FDM-Procedure

- Fused Deposition Modeling, Schmelzschichtung
- is currently one of the cheapest ways to create a 3-dimensional object
- individual layers of the component are printed on a heated platform
- Print head = heated extruder that melts fed material
- either the nozzle itself moves, or the platform below it (depending on the model)
- only when one layer solidifies can the next one be applied
- The quality of the component depends on the digital design, the precision of the movements, the fineness of the nozzles and the thermal properties of the material
- Properties:
    - colored components can be realized
    - Support structures necessary
    - low investment and costs
    - quick assembly
    - Sufficient accuracy for many components

G-Code

- = Programming language that allows the machine to understand which commands to follow in order to manufacture the part layer by layer
- G-code consists of G and M commands, each of which is assigned a movement/action

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

- Combination of these commands makes it possible to understand which pattern it must follow in order to produce the final part
- Codes for the printhead movements follow the NIST RS274NGC G-code standard RepRap firmware also suitable for CNC milling and similar applications
- Different ways to prepare G-code
  - Method 1: Using a slicing program - import a CAD model, decompose it into layers, and output the G-code required to print each layer
  - Method 2: Using a lower-level library allow for fine-grained control over the tool-path and are therefore useful
  - Method 3: Write your own G-code best choice for test lines in calibration
- Example of typical G-code:

  N6 G1 F1500
  N7 G1 X2.0 Y2.0 F3000
  N8 G1 X3.0 Y3
- G-code can also be stored in files on SD cards
  - File with RepRap G-code usually has the extension .g, .gco or .gcode
  - Files for BFB/RapMan: .bfb extension
- Example of G-code stored in a file or generated by a slicer:

  G92 E0
  G28
  G1 F1500
  G1 X2.0 Y2.0 F3000
  G1 X3.0 Y3.0
- RepRap G-code is a list of fields separated by spaces or line breaks
- a field can be interpreted as a command, parameter, or any other special purpose
- consists of a letter, directly followed by a number, or can be just a single letter (flag)
- Letter provides information about the meaning of the field
- Numbers can be integers (179) or fractions (14,22)

Letters	**Meaning**
Gnnn	Standard G-code command, e.g. drive to a point
Mnnn	RepRap-defined command, e.g. turning on a fan
Tnnn	Selection of the nnn tool
Snnn	Command parameters, e.g. time in seconds; Temperatures; Voltage to be sent to a motor

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Pnnn	Command parameters, e.g. time in milliseconds; proportional (Kp) in PGD tuning
Xnnn	An X-coordinate that is normally to be approached (integer or fractional number/stepper motor control)
Ynnn	A Y-coordinate that is usually to be approached (integer or fractional number/stepper motor control)
Znnn	A Z-coordinate that is usually to be approached (integer or fractional number/stepper motor control)
U,V,W	Additional axis coordinates / control stepper motor
Innn	X-offset on arc movement; Integral (Ki) at PID Tuning
Jnnn	Y-offset in the arc movement
Dnnn	used for diameter; Derivation (Kd) in the PID vote
Hnnn	für die Heizungsnummer in der PID-Abstimmung genutzt
Fnnn	Feed rate in mm per minute (speed of print head movement)
Rnnn	used for temperatures
Qnnn	currently not in use
Ennn	Length of the extrudate exactly like X, Y and Z, but for the length of the filament to be consumed→
Nnnn	Line number used to request retransmission in case of communication failures→
*nnn	Checksum used to check for communication errors→

boot

- bootable = be able to perform a boot operation
- = The process by which a computer loads an operating system into the main memory/random access memory (RAM) □ after the operating system is loaded, the computer is ready to run applications
- Reboot = restart the operating system

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Control software

- Program that controls a technical process, a computer, etc.

Make SD card bootable (Windows)

- Connect the SD card to the computer
- Right-click on the Windows icon in the bottom left corner
- Click Run
- In the command box , type cmd and press Enter
- Now type diskpart and press Enter
- In the new window, type list disk
- Now find your SD card in the list
- Now enter select disk X and confirm with Enter (x= SD name according to the list)
- Now enter a Clean
- Now type Create Partition Primary
- Now enter an Active
- Now enter a format Fs= NTFS Quick
- Now enter an Assign
- Now give an exit
- Now mount the ISO file (right-click on the image and select Mount)
- Now enter the command G: CD BOOT (G is the drive letter of the ISO)
- Now enter the command EXE/NT 60 F (F is the drive letter of the SD card)
- Copy all the files of the ISO to the memory card
- Now the SD memory card is in bootable state

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Bibliography

UNetbootin. Online verfügbar unter http://unetbootin.github.io/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

3Druck.com (Hg.): Was ist 3D-Druck? Der 3D-Druck Grundkurs. Online verfügbar unter https://3druck.com/3d-druck-grundkurs/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Anderl, R.; Arndt, A. (2014): Additive Manufacturing oder generative Fertigungsverfahren – vom Prototypen zur Massenfertigung? Technische Universität Darmstadt. Darmstadt. Online verfügbar unter https://docplayer.org/2631516-Additive-manufacturing-oder-generative-fertigungsverfahren-vom-prototypen-zur-massenfertigung.html, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Ángel, L. M.: 3D Print. Online verfügbar unter http://thor.angel-lm.com/documentation/3d-printing-guide/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Ángel, L. M.: BOM. Online verfügbar unter http://thor.angel-lm.com/documentation/bom/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Ángel, L. M.: Get Started. Online verfügbar unter http://thor.angel-lm.com/documentation/get-started/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Bendel, O.: Robotik. Definition: Was ist "Robotik"? Hg. v. Galber Wirtschaftslexikon. Online verfügbar unter https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/robotik-54198, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Bundeszentrale für politische Bildung (Hg.) (2006): Open Source. Online verfügbar unter https://www.bpb.de/themen/digitalisierung/opensource/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

ComputerWeekly.de (Hg.) (2016): Boot-Vorgang. Definition. Online verfügbar unter https://www.computerweekly.com/de/definition/Boot-Vorgang, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

ComputerWeekly.de (Hg.) (2016): Spektrumanalysator. Definition. Online verfügbar unter https://www.computerweekly.com/de/definition/Spektrumanalysator, zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Das Digitale Wörterbuch der deutschen Sprache (Hg.): Roboter. Online verfügbar unter https://www.dwds.de/wb/Roboter, zuletzt geprüft am 13.06.2022.

duet3d (Hg.) (2022): Duet3D Documentation. Introduction to the Duet3D range of control electronics. Online verfügbar unter https://docs.duet3d.com/, zuletzt aktualisiert am 2022, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Eberhorn, J.; Lohrmann, J.; Ziegler, W. (2006): Computer und Roboter. Roboter. Online verfügbar unter https://www.planet-wissen.de/technik/computer_und_roboter/roboter_mechanische_helfer/index.html#:~:text=Roboter%20sind%20Maschinen%2C%20die%20sich,nur%20eine%20einzige%20Arbeit%20ausf%C3%BChren., zuletzt aktualisiert am 2020, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

Flores, A. M.; Reinhart, G.; Zwicker, C. (2018): Industrieroboter. Planung Integration Trends. Ein Leitfaden für KMU. Würzburg: Vogel Communications Group. Online verfügbar unter https://www.vbm-fachbuch.de/media/pdf/90/69/4b/sample-9783834334015.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Form+Werkzeug (Hg.): Grundbegriffe Additive Fertigung. Produktionsprozess - Additive Fertigung. Online verfügbar unter https://www.form-werkzeug.de/search?params=%7B%22query%22%3A%22pla%22%7D, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

formlabs (Hg.): 3D-Drucktechnologie im Vergleich: FDM vs. SLA vs. SLS. Online verfügbar unter https://formlabs.com/de/blog/3D-drucktechnologie-vergleich-fdm-sla-sls/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

formlabs (Hg.): FDM vs. SLA: die beiden beliebtesten Arten von 3D-Druckern im Vergleich. Online verfügbar unter https://formlabs.com/de/blog/fdm-vs-sla-compare-types-of-3d-printers/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

formlabs (Hg.): Leitfaden zu Herstellungsverfahren für Kunststoffe. Online verfügbar unter https://formlabs.com/de/blog/leitfaden-fertigungsprozesse-kunststoffe/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Hack, C. (2019): Das Multimeter – Eine Definition. Online verfügbar unter https://www.e-hack.de/das-multimeter/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Hißen, F. (2016): Gefahr durch Open Source? Wieso Open Source nicht unsicher ist. Hg. v. COMPUTERWOCHE TEC WORKSHOP. Online verfügbar unter https://www.tecchannel.de/a/gefahr-durch-open-source,3203189,2, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

induux Wiki (Hg.): Industrieroboter. Online verfügbar unter https://wiki.induux.de/Industrieroboter, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

lernchannel.de (Hg.): Roboter- und Handhabungsgeräte. Definition Roboter nach VDI-Richtlinie 2860 und der Norm EN 10218-1. Online verfügbar unter http://learnchannel.de/de/robo/handhabungsgeraete/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Liebl, S.; Luft, C.; Seidel, M.: ERP-Systeme im Wandel der Digitalisierung. Online verfügbar unter https://betrieb-machen.de/nachgelesen_robotik/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Martin: 3D Druck Stützstruktur Füllung. Beste Dichte & Muster. Hg. v. the3dprinterbee. Online verfügbar unter https://the3dprinterbee.com/de/3d-druck-support-dichte-muster/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Online-Wörterbuch Wortbedeutung.info (Hg.): bootfähig. Online verfügbar unter https://www.wortbedeutung.info/bootf%c3%a4hig/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Oubbati, M. (2007): Robotik. Skript zur Vorlesung. Universität Ulm. Ulm. Online verfügbar unter https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/iui.inst.130/Arbeitsgruppen/Robotics/Robotik/Robotik-Skript_07-08.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.

P., Regina (2021): Was ist ein G-Code und welche Rolle spielt dieser für den 3D-Druck? Hg. v. 3Dnatives. Online verfügbar unter https://www.3dnatives.com/de/was-ist-ein-g-code-3d-druck-290920211/#!, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Read the Docs (Hg.): Administration. Online verfügbar unter https://asgard-manual.nextron-systems.com/en/latest/usage/administration.html, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

RedHat (Hg.) (2019): Was ist Open Source-Software? Online verfügbar unter https://www.redhat.com/de/topics/open-source/what-is-open-source-software, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

RepRap (Hg.) (2022): G-code. Online verfügbar unter https://reprap.org/wiki/G-code, zuletzt aktualisiert am 2022, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

reprapworld (Hg.): Ultratronics Pro v1.0. The number one 3D printer electronics, 32-bit microprocessor. Online verfügbar unter https://reprapworld.de/electronics/controller-boards/ultratronics/ultratronics-pro-v1-0/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Roboterwelt (Hg.) (2015): Wann ist ein Roboter ein Roboter? Online verfügbar unter http://www.roboterwelt.de/magazin/wann-ist-ein-roboter-ein-roboter/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Schmidt, R.: Crimpen. Crimpen "normaler" Kabel (24-30AWG). Online verfügbar unter http://www.reinhartschmidt.de/flieger/Technik/Stecker/Crimpen/, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Schulz, S. (2018): Open Source: Was ist das genau? Online verfügbar unter https://praxistipps.chip.de/open-source-was-ist-das-genau_12877, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

techopedia (Hg.) (2017): Printed Circuit Board (PCB). Online verfügbar unter https://www.techopedia.com/definition/2267/printed-circuit-board-pcb, zuletzt aktualisiert am 2017, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Tony: Duet 3 Mainboard 6HC Hardware Overview. Overview of Duet 3 Mainboard 6HC hardware features. Hg. v. duet3d. Online verfügbar unter https://duet3d.dozuki.com/Wiki/Duet_3_Mainboard_6HC_Hardware_Overview, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Wolski, D. (2015): USB-Stick und SD-Karte bootfähig machen. Schritt für Schritt. Online verfügbar unter https://www.tecchannel.de/a/usb-stick-und-sd-karte-bootfaehig-machen,3201530, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

Antragsnummer: 2020-1-DE02-KA202-007743 - Von der Europäischen Union finanziert. Die geäußerten Ansichten und Meinungen entsprechen jedoch ausschließlich denen des Autors bzw. der Autoren und spiegeln nicht zwingend die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für Bildung und Kultur (EACEA) wider. Weder die Europäische Union noch die EACEA können dafür verantwortlich gemacht werden.