

# **Sternsimulation mit MESA**

**V.: (0.0.7)**

**Veronika Auf, 01208999  
Erich Schubert, 07925151**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>5</b>
<b>1. Betriebssystem</b>	<b>1-1</b>
<b>2. Installation</b>	<b>2-1</b>
2.1. Gesamter Installationsablauf unter UBUNTU . . . . .	2-1
2.2. SDK-Installation . . . . .	2-1
2.3. MESA-Installation . . . . .	2-3
2.4. mesa_reader Installation . . . . .	2-4
2.5. mesa . . . . .	2-5
2.6. Arbeitsumgebung . . . . .	2-6
2.7. grundsätzlicher Modellbildungslauf . . . . .	2-7
<b>3. Aufgabe 1</b>	<b>3-1</b>
3.1. Notebook . . . . .	3-1
3.2. Sonnenmodell . . . . .	3-1
3.2.1. Anpassung der Modellparameter . . . . .	3-1
3.2.1.1. Simulationsläufe . . . . .	3-2
<b>A. Anhang</b>	<b>A-1</b>
A.1. Sonnenmodell-Parameterdatei . . . . .	A-1
<b>B. Theorie</b>	<b>B-1</b>
B.1. Mischungswegetheorie . . . . .	B-1
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>B-2</b>

# Abbildungsverzeichnis

3.1. Simulationslauf 1, Sonne als Symbol eingezeichnet . . . . .	3-3
3.2. Simulationslauf 2, Sonne als Symbol eingezeichnet . . . . .	4
3.3. Simulationslauf 3, Sonne als Symbol eingezeichnet . . . . .	5

# Tabellenverzeichnis

3.1. Aufgabe 1: fixe Vorgabeparameter . . . . .	3-1
3.2. Aufgabe 1: Optimierungsparameter . . . . .	3-2
3.3. Aufgabe 1: Zielparameter . . . . .	3-2

# Formelzeichen

$\Pi$	Kreiszahl
$\alpha_{\text{MLT}}$	Mischungslängenparameter (mixed-length-alpha)
$\kappa$	Raumkrümmung
$R_{s,\odot}$	Teilchendichte (p+.e-, uvm)
$m, M$	Masse
$v$	allg. Geschwindigkeit eines Körpers

# 1. Betriebssystem

ID: mesa'bs.tex

Als Betriebssystem wird die UBUNTU-Variante:

Betriebssystem	
KUBUNTU:	23.10
Kernel:	6.5.0-generic (64bit)
QT:	5.15.10
Python:	3.11.6

verwendet im Grundumfang verwendet. Je nach Installationspackage muss Python3 eventuell erst mit dem Packetmanager nachinstalliert werden.

Die Grundinstallation (wird zur Erstellung neuer Modelle benötigt) ist auf

Systemverzeichnis	
~/work/mesasdk	
~/work	(mesa)

abgelegt.

## 2. Installation

ID: installation.tex

Sollte die MESA-Installation nicht auf Anhieb lauffähig sein, muss mit Hilfe des SDK die Installation neu durchgeführt werden. Für die Systemkonfiguration entsprechend Kap. 1 ist der folgend angegebene Installationsablauf

- SDK-Installation 2.2
- MESA Installation 2.1
- mesa\_reader Installation 2.4 wenn das Ergebnis mit MESA-Ergebnisdaten weiter ausgewertet werden soll

notwendig.

### 2.1. Gesamter Installationsablauf unter UBUNTU

ID: mesa-installation-gesamt-ubuntu.tex

Dieser Installationsablauf bereitet immer wieder Compilerprobleme. Daher wurde mit/über dem SDK installiert.

Grundlegende Kenntnisse des LINUX-Betriebssystem werden folgend vorausgesetzt.

### 2.2. SDK-Installation

ID: sdk-installation.tex

DA immer wieder Generierprobleme mit dem MESA-Source-Paket auftraten wurde eine Generierung über das SDK-inst versucht.

## 2. Installation

---

Hierfür wurde von das Gesamtpaket `mesasdk-x86_64-linux-23.7.3.tar.gz` in das Homeverzeichnis kopiert und von dort entpackt. Mit dem Skript

### SDK-Installationscript

```
#!/bin/bash

# Global variables
MESASDK_ROOT=~ /mesasdk
MESA_DIR=~ /mesa
OMP_NUM_THREADS=2

# Install dependencies
#sudo apt-get update
#sudo apt-get install -y binutils make perl libx11-dev zlib1g-dev tcsh
#sudo apt-get install -y gcc-5
#sudo apt-get install -y libc6
#sudo apt-get install -y subversion
#sudo apt-get install -y tar curl

# Download the source code
#cd /tmp
#wget --user-agent="" http://www.astro.wisc.edu/~townsend/resource/down

# Extract the file (-f has to be the last argument)
#tar -xvzf /tmp/mesasdk-x86_64-linux-23.7.3.tar.gz -C ~/
#cd ~

# Source the sdk initialization script
source $MESASDK_ROOT/bin/mesasdk_init.sh

# Check that mesasdk is pointing to the right thing
if `which gfortran | grep -q "$MESASDK_ROOT/bin/gfortran"`; then
echo "MESA SDK was set up successfully."
else
echo " ===== "
echo "Error: MESA SDK did not find the right version of gfortran"
echo " ===== "
exit
fi
```

### SDK-Installationscript - Fortsetzung

```
# Clone MESA
cd ~
svn co -r 8845 svn://svn.code.sf.net/p/mesa/code/trunk $MESA_DIR

# Set environment variables
echo >> ~/.bashrc
echo "# MESA" >> ~/.bashrc
echo "export MESA_DIR=$MESA_DIR" >> ~/.bashrc
echo "export OMP_NUM_THREADS=$OMP_NUM_THREADS" >> ~/.bashrc
echo "export MESASDK_ROOT=$MESASDK_ROOT" >> ~/.bashrc
echo 'source $MESASDK_ROOT/bin/mesasdk_init.sh' >> ~/.bashrc

# Compile MESA
cd $MESA_DIR
./install

# Reload your profile
source ~/.bashrc
```

Gestartet wurde mit:

### Installationsaufruf

```
./install_mesasdk.sh
```

## 2.3. MESA-Installation

ID: mesa`installation.tex

Die Installation wird für ein LINUX-Betriebssystem dargestellt. Im konkreten Fall wird eine Boot-Installation von KUBUNTU zugrunde gelegt. Eine Installation in einer Virtual-Box sollte analog durchgeführt werden können, und ist damit vom Betriebssystem unabhängig.

### UBUNTU MESA Installation

```
sudo apt update
sudo apt install git gfortran g++ make libx11-dev curl
git-lfs
git lfs install

# Klonen des MESA-Repository von GitHub
cd ~
git clone https://github.com/MESAHub/mesa.git
cd mesa

# externe Bib's auflösen
./install

# MESA bauen
cd star/work          # das Arbeitsverzeichnis
./mk                 # im MESA-Verzeichnis!

# Umgebungsvariablen setzen
export MESA_DIR=~ /mesa
export MESASDK_ROOT=$MESA_DIR/mesasdk
source $MESASDK_ROOT/bin/mesasdk_init.sh

# Installation testen
cd $MESA_DIR/star/work
./mk
./rn
```

## 2.4. mesa\_reader Installation

ID: reader-installation.tex

I.A. muss für eine erfolgreiche Installation zuerst eine virtuelle Python-Umgebung mit entsprechenden Schreibrechten angelegt werden.

### UBUNTU MESA Installation

```
# In ein sauberes Verzeichnis wechseln
mkdir ~/mesa-install
sudo chown -R $(whoami) ~/mesa-install

cd ~/mesa-install

# Repository klonen
git clone https://github.com/MESAHub/mesa_reader.git
cd mesa_reader

# Virtuelle Umgebung erstellen
python -m venv venv
source venv/bin/activate

# Paket installieren
pip install .
```

Ob die Installation erfolgreich war kann mit

### UBUNTU MESA Installation

```
python3
import mesa_reader as mr
```

überprüft werden. Kommt keine Fehlermeldung wurde korrekt installiert.

## 2.5. mesa

Mit Hilfe des Softwarepaketes mesa soll ein Modell der Sonne erstellt werden. Hierfür sollen Startparameter so gewählt werden, dass messbare Sonnenparameter vom resultierenden Modell geliefert werden. Die Dokumentation und der Code zu mesa ist online zu finden.[2]

Die Parametervorgabe des Modells erfolgt über die Datei

### Modellparameter

inlist.

Diese Datei ist als reine Textdatei formatiert und hat folgenden Aufbau:

Im Anhang A.1 zu finden

## 2.6. Arbeitsumgebung

Für eine Arbeitsversion ist das Mesaverzeichnis dann komplett umzukopieren. Die Modelle der Sterne liegen dann in

### Arbeitsverzeichnis

```
~/work/Studium/mesa/uebung/work/(xxxxxx)
```

der Checkout erfolgt mit

```
cp -r $MESA_DIR/star/work ...../(xxxxxx)
```

und das Modell wird mit

```
./mk
```

aus dem Arbeitsverzeichnis „...../(xxxxxx)“ heraus erstellt.

Die Ausgaben der Modellrechnung sind zu finden in:

### Modellergebnisse

```
~/work/Studium/mesa/uebung/work/(xxxxxx)/LOGS/
```

Die Modellparameter werden in der Textdatei `inlist` A.1 eingetragen die im root-Verzeichnis des Modelles „./(xxxxxx)“ abgelegt ist.

## 2.7. grundsätzlicher Modellbildungslauf

Der genaue Aufbau der Parameterdatei „inlist“ und die Bedeutung der Parameter kann der mesa-Dokumentation [2](Kap: Konfigurationsdateien einrichten) entnommen werden. Das Beispiel zur Aufgabe 1 ist in refanhang:parameteropt zu finden.

Ausgeführt wird der Code aus dem Arbeitsverzeichnis heraus (mit den zugehörigen Steuerparametern in inlist) dann mit

### Modell ausführen

```
./rn
```

Neben der Terminalausgabe sind die Ergebnisse dann im „./LOGS“-Verzeichnis 2.6 zu finden.

## 3. Aufgabe 1

ID: aufgabe1.tex

### 3.1. Notebook

Da zur Auswertung Python-Skripts benötigt werden, wird die Arbeit mit Hilfe eines Jupyter Notebooks erledigt und mitkommentiert. Das Notebook ist zu finden in

#### Jupyter Notebook für Aufgabe 1

```
~/work/Studium/mesa/uebung/work/sun_read.ipynb
```

### 3.2. Sonnenmodell

ID: mesa\_sunmodel.tex

Es sollen für ein Ziel-Sonnenmodell einige Parameter optimiert werden.

Parameter	Startwert	Endwert	Opt.Ziel
Sternmasse	$1.0M_{\odot}$	$1.0M_{\odot}$	fix

Tabelle 3.1.: Aufgabe 1: fixe Vorgabeparameter

Zur Vereinfachung sollen „Überschwinger“ und sonstige physikalisch nicht passende Parameter, mit Ausnahme der Zielparameter ignoriert werden. Geforderte Zielparameter des Sonnenmodells:

#### 3.2.1. Anpassung der Modellparameter

ID: mesa\_sunoptimierung.tex

Parameter	Startwert	Endwert
Heliumkonz. (Y)	0,2	0.3
Metalle (Z)	0.01	0.02
Mischungslängengparameter ( $\alpha_{MLT}$ ) [1]	1.8	2.0

Tabelle 3.2.: Aufgabe 1: Optimierungsparameter

Zielgröße	Zielwert	max. Abweichung
Sternradius	1 $R_{\odot}$	1%
Leuchtkraft	1 $L_{\odot}$	1%
Effektivtemperatur	5777K	$\pm 20K$
Sternalter	4.6 GYr	$\pm 0.1GYr$

Tabelle 3.3.: Aufgabe 1: Zielparameter

Die zugrundeliegenden Modellparameter sind im File `inlist_project A.1` in dem Block „&controls“ abgelegt.

#### 3.2.1.1. Simulationsläufe

ID: mesa`simulation-ex1.tex

### Lauf1

#### Initialwerte des Sterns:

Masse des Sterns in Einheiten von Sonnenmassen: 1.0  $M_{sun}$

Anfänglicher Heliumgehalt (initial Y): 0.268

Anfängliche Metallizität (initial Z) : 0.035

mixing-length-alpha: 1.8

#### Ergebnisse:

Simulierte Sterntemp: 5647.3 K

Simuliertes Sternalter: 4.600  $Gyr_s$

Simulierter Sternradius: 1.062  $R_{sun}$

### 3. Aufgabe 1

---

Simulierte Leuchtkraft:  $1.033 L_{sun}$

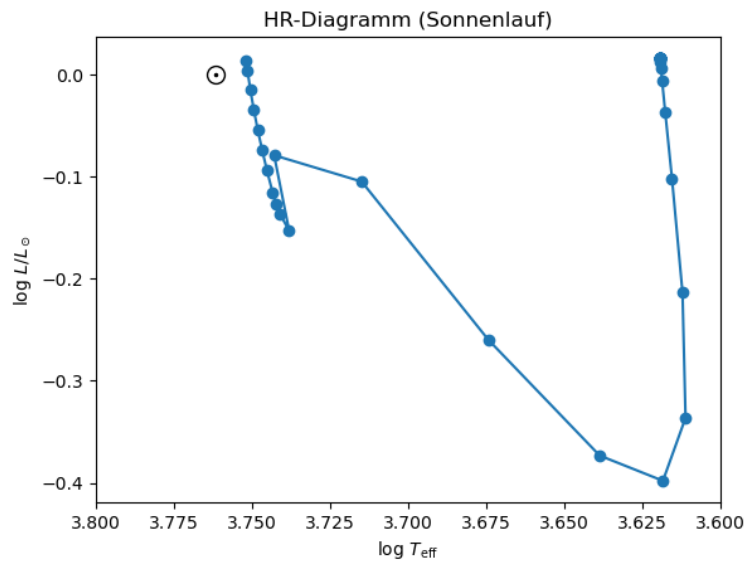


Abbildung 3.1.: Simulationslauf 1, Sonne als Symbol eingezeichnet  
(Quelle:[SE])

## Lauf2

Dieser Simulationslauf wurde nach mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Initialwerten gestartet, und hat sich als beste Annäherung an die Zielwerte herausgestellt.

### Initialwerte des Sterns:

Masse des Sterns in Einheiten von Sonnenmassen:  $1.0 M_{sun}$

Anfänglicher Heliumgehalt (initial Y): 0.280

Anfängliche Metallizität (initial Z): 0.020

mixing-length-alpha: 2.0

### Ergebnisse:

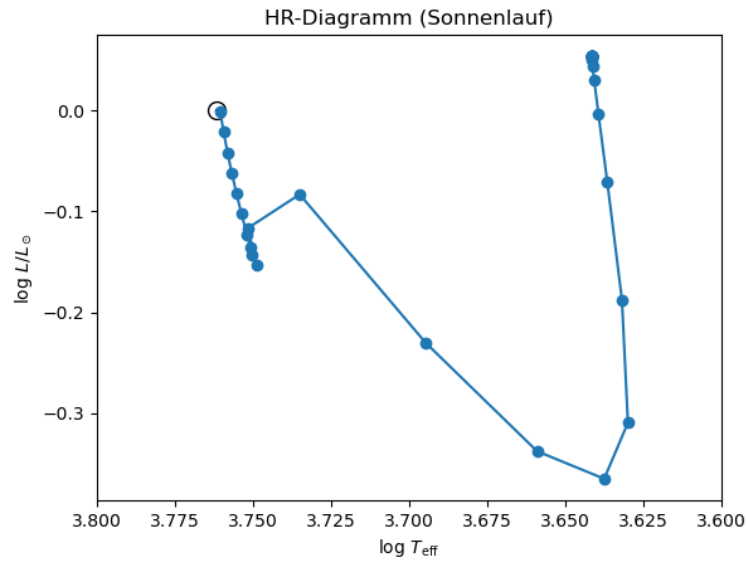
Simulierte Sterntemp: 5761.3 K

Simuliertes Sternalter: 4.600 Gyr

Simulierter Sternradius:  $1.003 R_{sun}$

Simulierte Leuchtkraft:  $0.999 L_{sun}$

## Lauf3



ID: ./images/sim1-2.png

Abbildung 3.2.: Simulationslauf 2, Sonne als Symbol eingezeichnet  
(Quelle:[SE])

Auswirkung der Änderung von  $\alpha_{mlt}$  gegenüber dem (fast) Optimum:

**Initialwerte des Sterns:**

Masse des Sterns in Einheiten von Sonnenmassen:  $1.0 M_{sun}$

Anfänglicher Heliumgehalt (initial Y) : 0.280

Anfängliche Metallizität (initial Z) : 0.020

mixing-length-alpha: 1.9

**Ergebnisse:**

Simulierte Sterntemp: 5729.4 K

Simuliertes Sternalter: 4.600 Gyr

Simulierter Sternradius:  $1.013 R_{sun}$

Simulierte Leuchtkraft:  $0.996 L_{sun}$

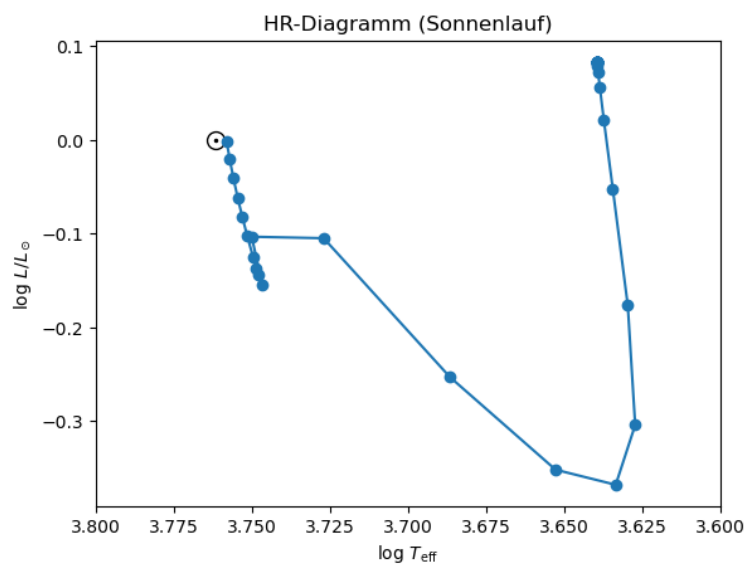


Abbildung 3.3.: Simulationslauf 3, Sonne als Symbol eingezeichnet  
(Quelle:[SE])

ID: ./images/sim1-3.png

# A. Anhang

Hier im Anhang wird der Auswertungsablauf dokumentiert, bzw. werden erläuternde Hinweise gegeben um den Auswertungsablauf detaillierter nachvollziehen zu können. Weiters werden Theoretische Einführungen im Überblick angegeben, welche einzelne nicht allgemein bekannte Details betreffen.

## A.1. Sonnenmodell-Parameterdatei

ID: mesa'inlistbsp.tex

Für die erste Aufgabenstellung und den ersten Modellrun wir folgendes Startparametrierung verwendet:

```
! inlist to evolve a 1 solar mass star

! For the sake of future readers of this file (yourself included),
! ONLY include the controls you are actually using. DO NOT include
! all of the other controls that simply have their default values.

&star_job
  ! see star/defaults/star_job.defaults

  ! begin with a pre-main sequence model
  create_pre_main_sequence_model = .true.

  ! save a model at the end of the run
  save_model_when_terminate = .false.
  save_model_filename = '1M_at_TAMS.mod'

  ! display on-screen plots
  pgstar_flag = .true.

/ ! end of star_job namelist
```

```
&eos
  ! eos options
  ! see eos/defaults/eos.defaults

/ ! end of eos namelist

&kap
  ! kap options
  ! see kap/defaults/kap.defaults
  use_Type2_opacities = .true.
  Zbase = 0.02

/ ! end of kap namelist

&controls
  ! see star/defaults/controls.defaults

  ! starting specifications
  initial_mass = 1 ! in Msun units
    initial_z = 0.035d0
    initial_y = 0.268d0
    mixing_length_alpha = 1.8

  ! when to stop

    max_age = 4.6d9

  ! stop when the star nears ZAMS (Lnuc/L > 0.99)
  !Lnuc_div_L_zams_limit = 0.99d0
  !stop_near_zams = .true.

  ! stop when the center mass fraction of h1 drops below this limit
  !xa_central_lower_limit_species(1) = 'h1'
  !xa_central_lower_limit(1) = 1d-3

  ! wind

  ! atmosphere

  ! rotation
```

```
! element diffusion

! mlt

! mixing

! timesteps

! mesh

! solver
  ! options for energy conservation (see MESA V, Section 3)
  energy_eqn_option = 'dedt'
  use_gold_tolerances = .true.

! output

/ ! end of controls namelist
```

Die Modellvorgaben befinden sich sämtliche im Block `&controls`

### inlist - Änderungen Aufgabe 1

```
&controls  
! read_extra_controls_inlist(1) = .true.  
! extra_controls_inlist_name(1) = 'inlist_project'
```

```
max_model_number = 20000
```

```
⇒initial_mass = 1.0  
⇒initial_z = 0.02d0  
⇒initial_y = 0.265d0  
⇒mixing_length_alpha = 2.0
```

```
photo_interval= 50  
profile_interval = 50  
history_interval = 1  
terminal_interval = 10  
write_header_frequency = 10
```

```
⇒max_age = 4.6d9
```

```
/ ! end of controls namelist
```

# B. Theorie

## B.1. Mischungswegetheorie

ID: mischungswegetheorie.tex

[1] Die Mischungswegetheorie (engl. mixing length theory (MLT)) ist eine einfache Methode, um die Konvektion im Inneren von Sternen zu behandeln.

Man nimmt dabei an, dass der Stern sich im hydrostatischen Gleichgewicht befindet und Konvektion zeitunabhängig abläuft, das heißt, der innere Aufbau von Sternen verändert sich viel langsamer als die Konvektion vonstatten geht. Die Mixing Length ist hierbei die Distanz, die ein Masse-Element zurück legt, bis es mit seiner Umgebung verschmolzen ist.

$$l_m = \alpha_{\text{MLT}} \times H_P$$

$\alpha_{\text{MLT}}$  wird so bestimmt, dass die theoretischen Werte zu den Beobachtungen passen.

$H_P$  ist eine Größenordnung für die radiale Distanz, über die sich die Druckverhältnisse im Inneren eines Sterns signifikant verändern.

# Literatur

- [1] Wikipedia. *Mischungswegtheorie* — *Wikipedia, die freie Enzyklopädie*. [Online; Stand 5. Mai 2024]. 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Mischungswegtheorie&oldid=176312481>.
- [2] The MESA Team. *Modules for Experiments in Stellar Astrophysics - Mesa Documentation Website*. 2024. URL: <https://docs.mesastar.org/en/release-r24.03.1/> (besucht am 2024).

# Stichwortverzeichnis

Konvektion, B-1  
KUBUNTU, 2-3

mesa, 2-5  
Mischungswegetheorie, B-1  
mixing length theory, B-1

Python3, 1-1  
SDK-inst, 2-1  
Sonnenmodell, 3-1  
    Parameterdatei, A-1  
    Vorgabeparameter, 3-1  
    Zielparameter, 3-1