



Vortrag zum 5. BFG-Workshop:

Philippe Bourdin, 23.04.2009

Überblick:

- * GRID-enhanced simulation of a human skin model for inversion of livor mortis reflectance spectra
- * Physikalische Datenformate
- * Elektronisches Laborbuch
- * 3D MHD-simulation of plasma heating mechanisms in the solar corona



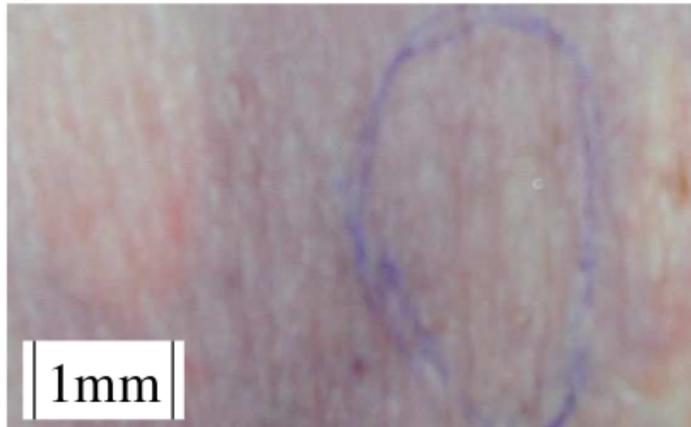
GRID-enhanced simulation of a human skin model



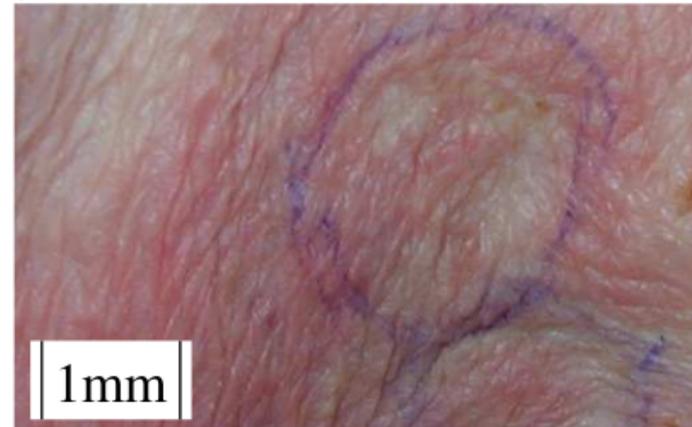
Livor Mortis:

- Verfärbung von Totenflecken unter Kälteeinfluss

(a)

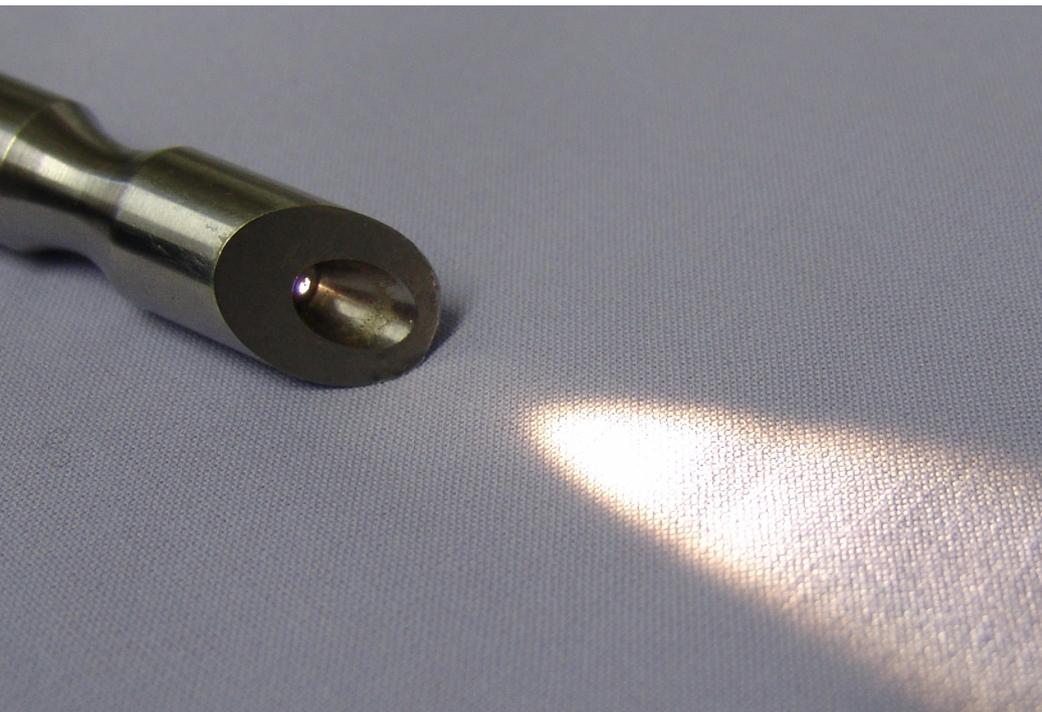


(b)



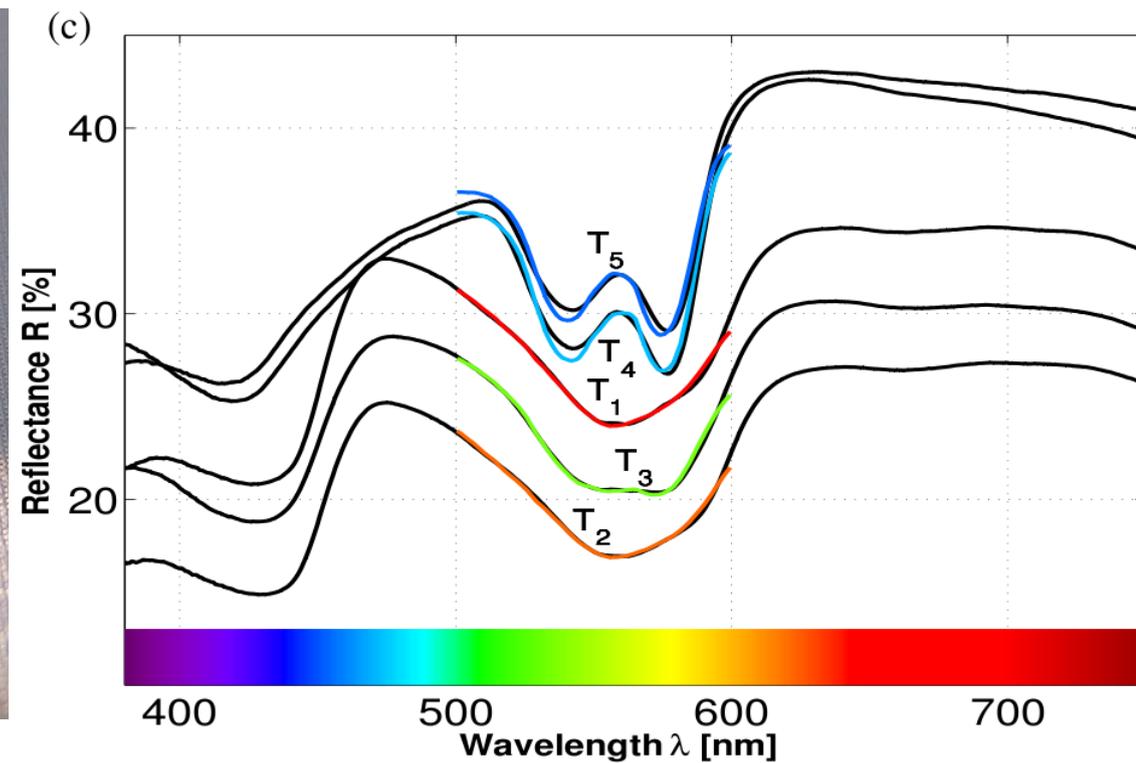
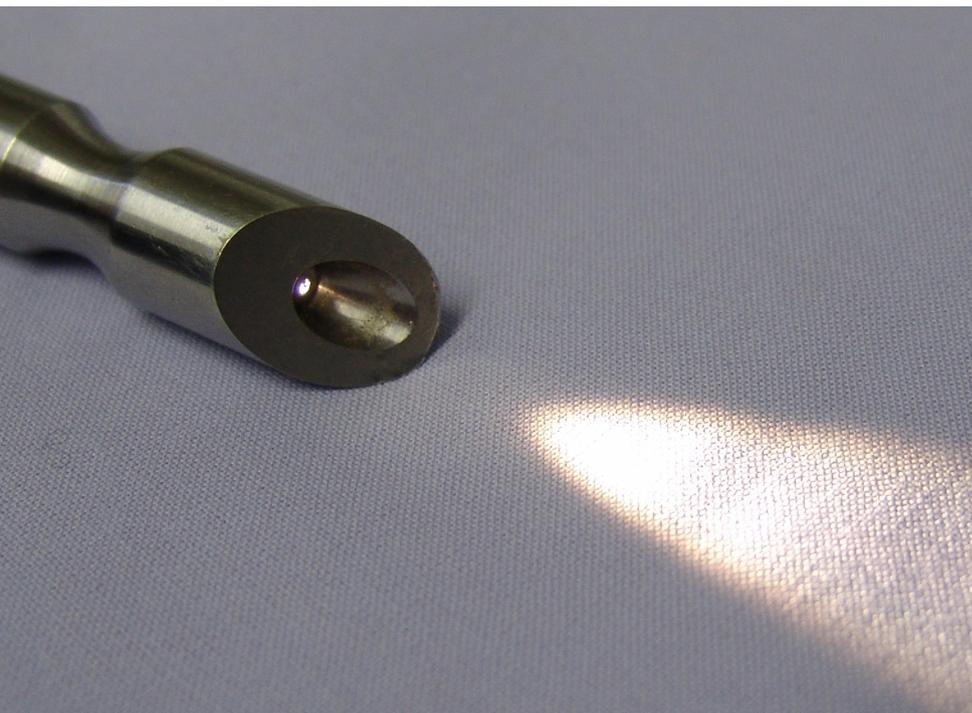
Livor Mortis:

- Messung durch Reflekanzspektroskopie



Livor Mortis:

- Messung durch Reflektanzspektroskopie



=> Temperaturabhängige Spektren von Hautflecken

GRID-enhanced simulation of a human skin model



Modellierung:

mittels Monte-Carlo-Simulationen von
Lichtstreuung in optisch trüben Medien:



Modellierung:

mittels Monte-Carlo-Simulationen von
Lichtstreuung in optisch trüben Medien:

- Mie-Theorie beschreibt Streuung an kugelförmigen Partikeln (hier: Zellkerne) in Abhängigkeit des Größenparameters x



Modellierung:

mittels Monte-Carlo-Simulationen von
Lichtstreuung in optisch trüben Medien:

- Mie-Theorie beschreibt Streuung an kugelförmigen Partikeln (hier: Zellkerne) in Abhängigkeit des Größenparameters x
- Wahl einer fiktiven festen Wellenlänge mit variabler Anisotropie g , variabler Absorption μ_A und variablen Streuerdichten μ_S



Modellierung:

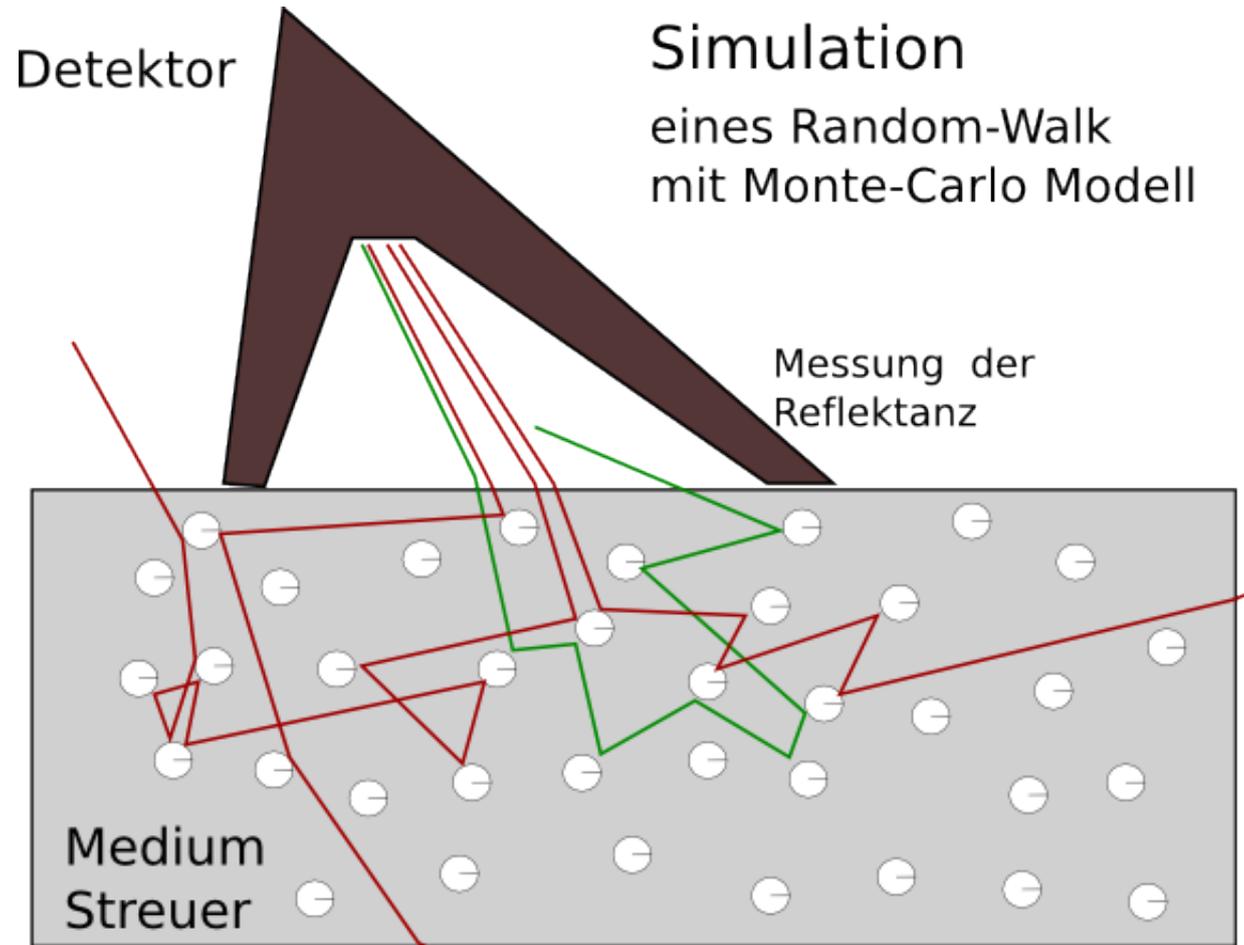
mittels Monte-Carlo-Simulationen von
Lichtstreuung in optisch trüben Medien:

- Mie-Theorie beschreibt Streuung an kugelförmigen Partikeln (hier: Zellkerne) in Abhängigkeit des Größenparameters x
- Wahl einer fiktiven festen Wellenlänge mit variabler Anisotropie g , variabler Absorption μ_A und variablen Streuerdichten μ_S
- Monte-Carlo-Simulation der Streuung vieler einzelner Photonen in einem Material mit bekanntem Brechungsindex n

GRID-enhanced simulation of a human skin model



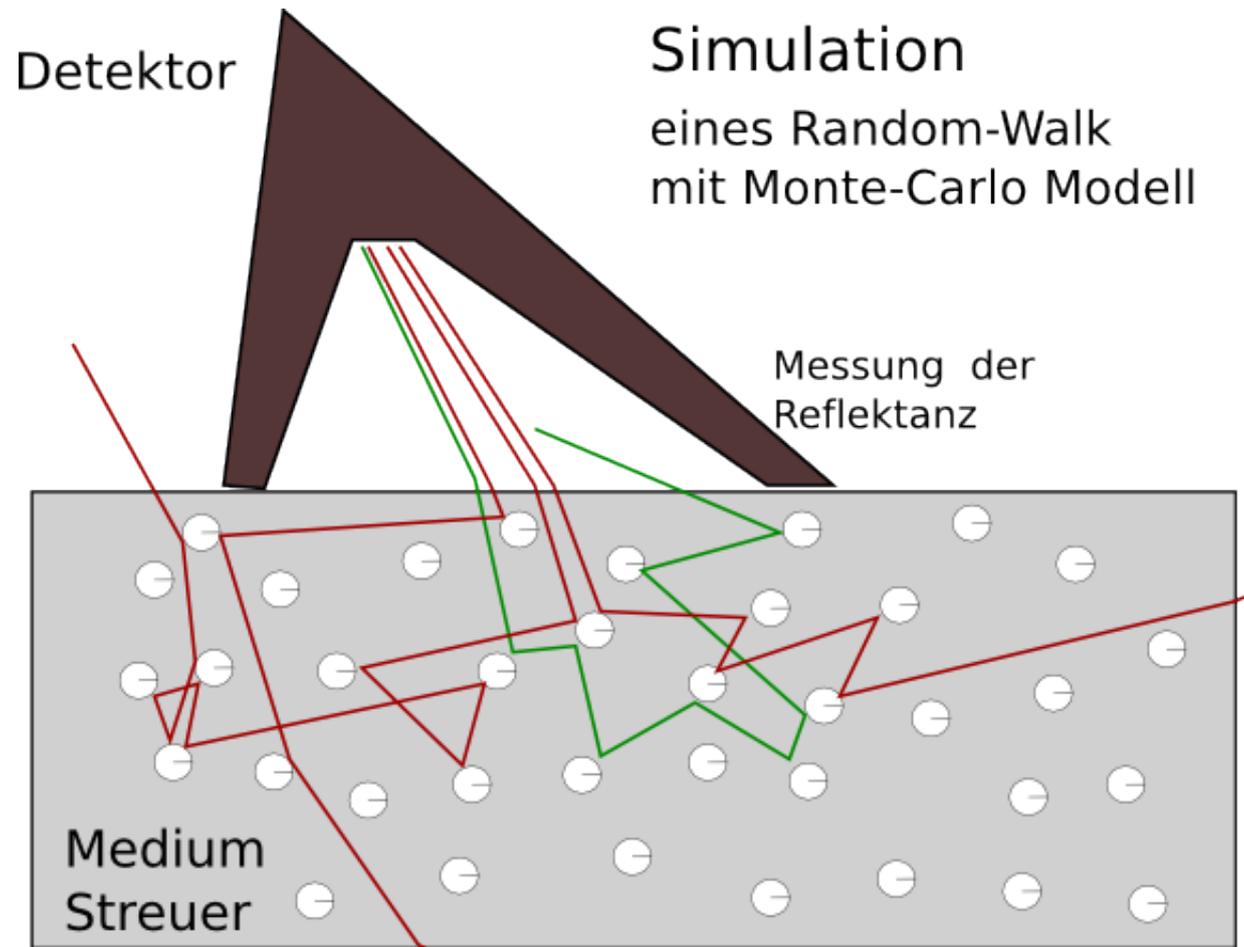
- Initialisierung
- direkte Reflektanz



GRID-enhanced simulation of a human skin model



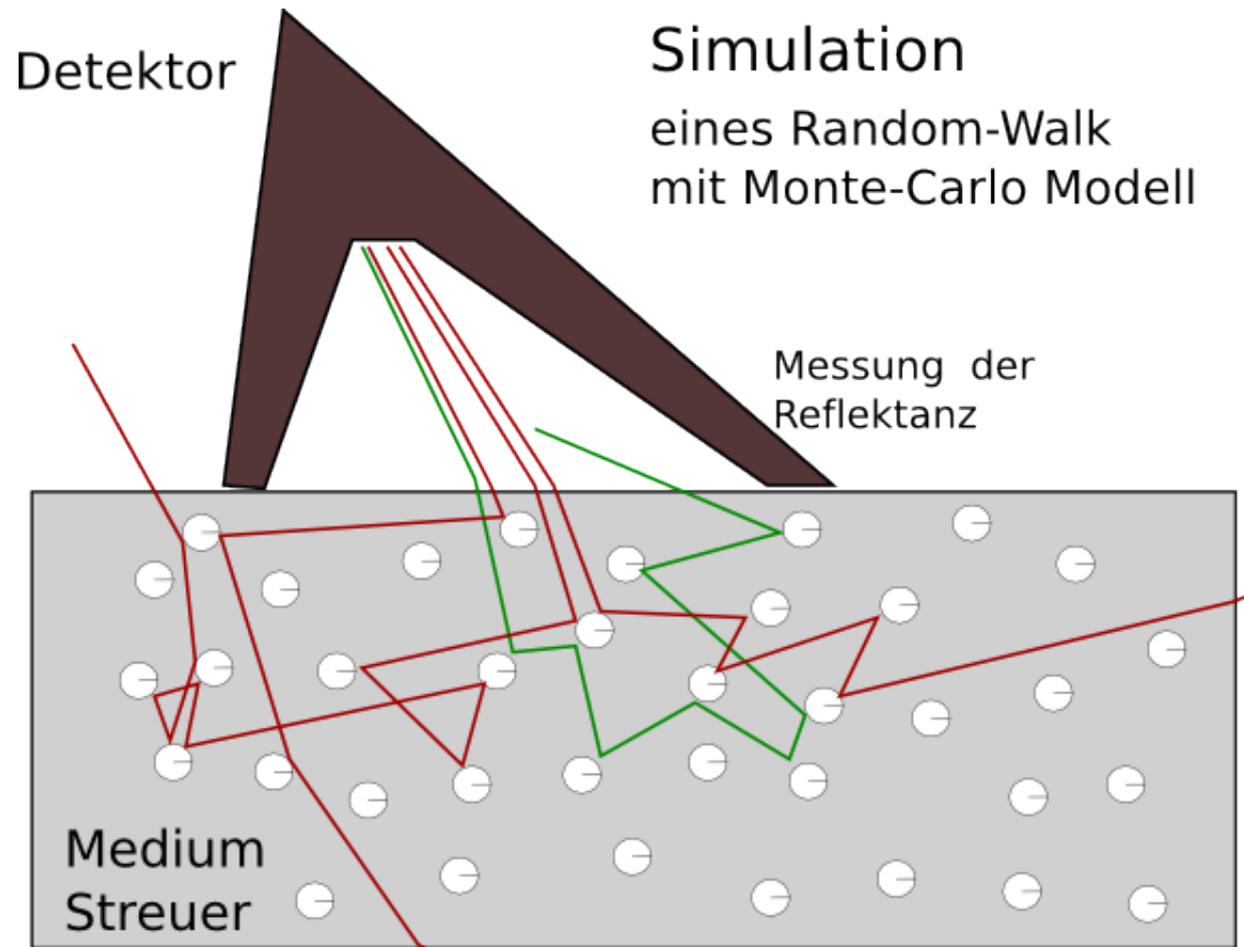
- Initialisierung
- direkte Reflektanz
- Streuung
- Transmission



GRID-enhanced simulation of a human skin model



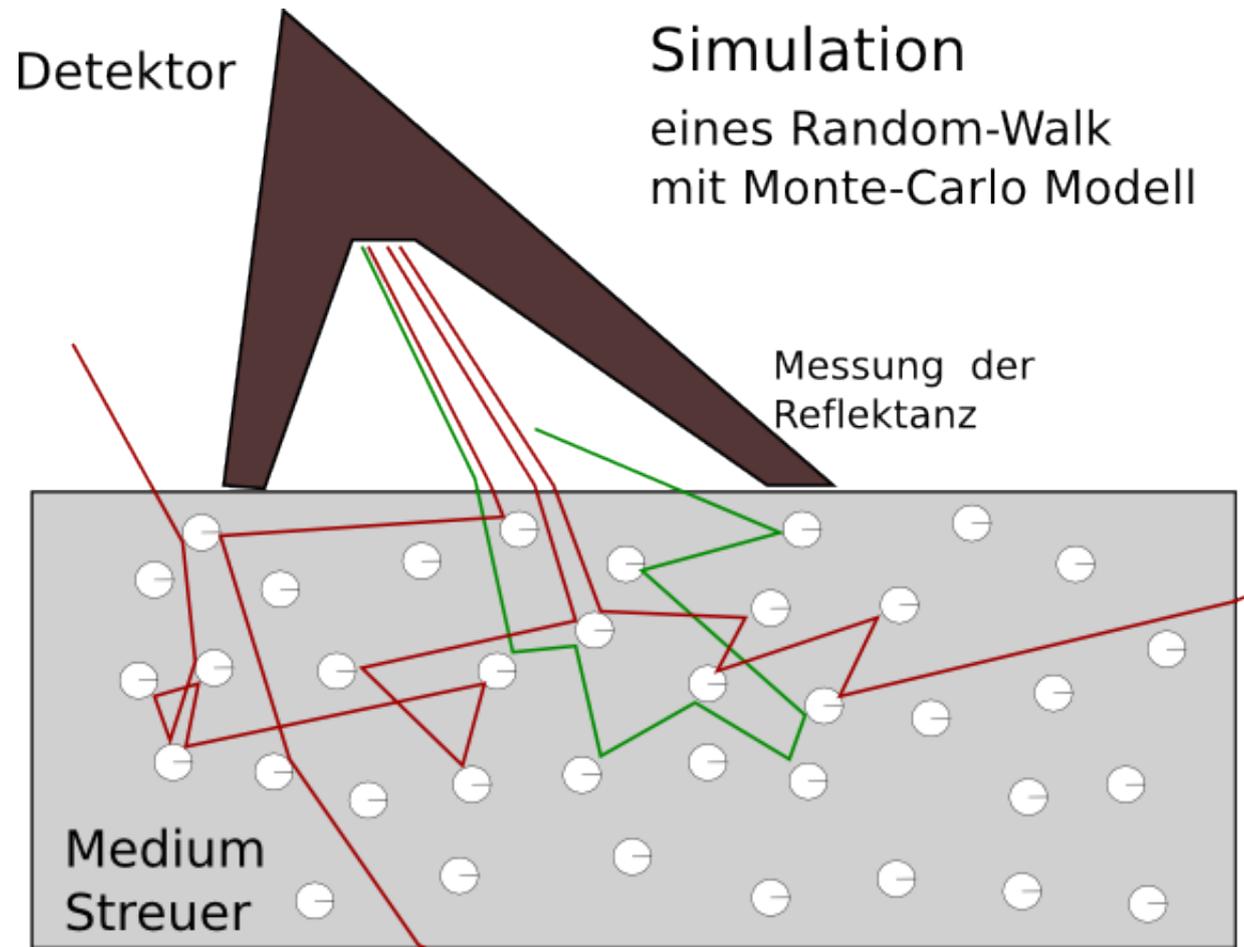
- Initialisierung
- direkte Reflektanz
- Streuung
- Transmission
- indirekte Reflektanz
- Integration über Detektorfläche



GRID-enhanced simulation of a human skin model



- Initialisierung
- direkte Reflektanz
- Streuung
- Transmission
- indirekte Reflektanz
- Integration über Detektorfläche
- Terminierung von Photonen



GRID-enhanced simulation of a human skin model

GRID-enhanced version of the MCML-Code*:

```

144 # number of runs

#### SPECIFY DATA FOR RUN 1
#InParm          # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-1.mco A # output file name
500000           # No. of photons
0.01            0.01 # dz, dr [cm]
40 150 1        # No. of dz, dr
45 0.165 0.5 0 0 # theta0 [degree]

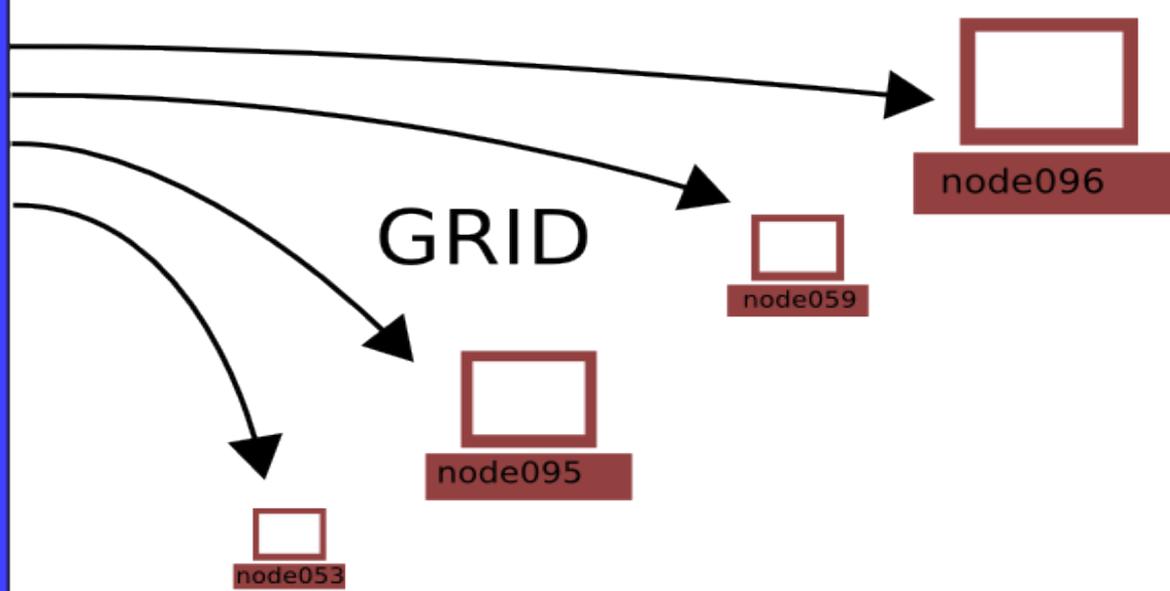
1 # Number of layers
# n mua mus g d # One line for each layer
1 # n for medium 1
1.4037 0 1 0 0.293 # layer 1
1 # n for medium 2

#### SPECIFY DATA FOR RUN 2
#InParm          # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-2.mco A # output file name
500000           # No. of photons
0.01            0.01 # dz, dr [cm]
40 150 1        # No. of dz, dr
45 0.165 0.5 0 0 # theta0 [degree]

1 # Number of layers
# n mua mus g d # One line for each layer
1 # n for medium 1
1.4037 0 2 0 0.293 # layer 1
1 # n for medium 2

#### SPECIFY DATA FOR RUN 3
#InParm          # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-3.mco A # output file name

```



* Wang, L-H, S.L. Jacques: Hybrid model of Monte Carlo simulation and diffusion theory for light reflectance by turbid media. *J. Optical Soc. Am. A* 10:1746-1752, 1993.

GRID-enhanced simulation of a human skin model

GRID-enhanced version of the MCML-Code:

```

144 # number of runs

#### SPECIFY DATA FOR RUN 1
#InParm # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-1.mco A # output file name
500000 # No. of photons
0.01 0.01 # dz, dr [cm]
40 150 1 # No. of dz, dr
45 0.165 0.5 0 0 # theta0 [degree]

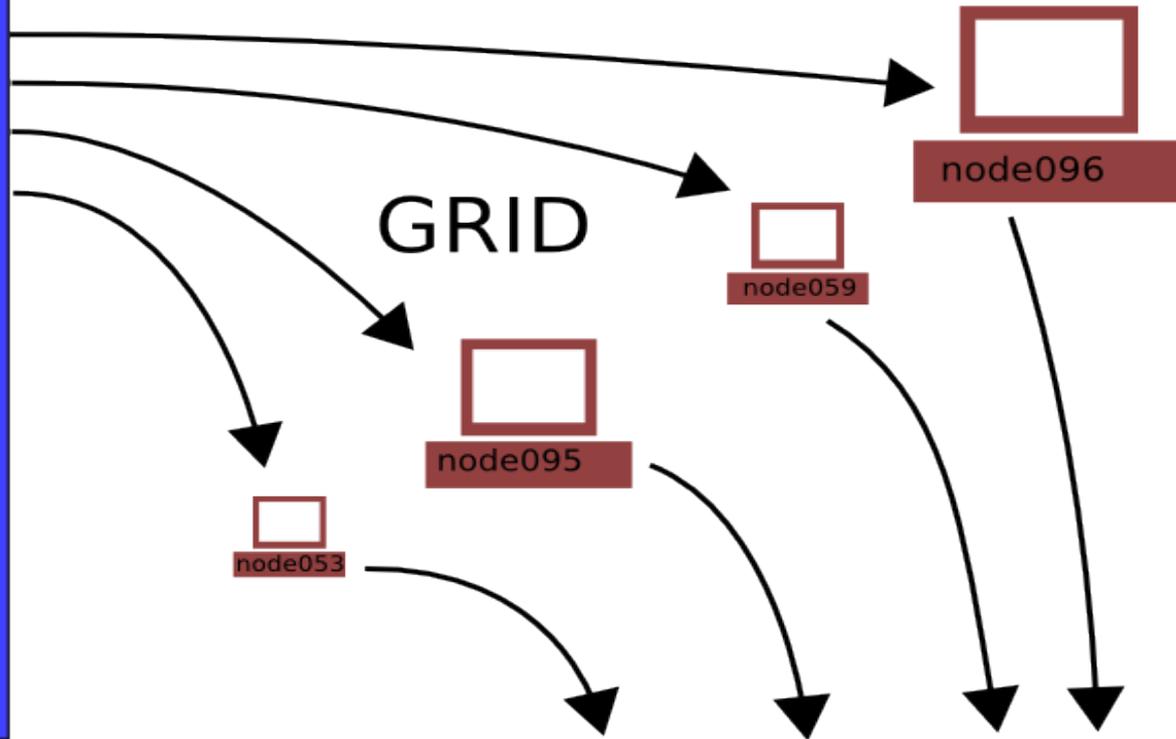
1 # Number of layers
# n mua mus g d # One line for each layer
1 # n for medium 1
1.4037 0 1 0 0.293 # layer 1
1 # n for medium 2

#### SPECIFY DATA FOR RUN 2
#InParm # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-2.mco A # output file name
500000 # No. of photons
0.01 0.01 # dz, dr [cm]
40 150 1 # No. of dz, dr
45 0.165 0.5 0 0 # theta0 [degree]

1 # Number of layers
# n mua mus g d # One line for each layer
1 # n for medium 1
1.4037 0 2 0 0.293 # layer 1
1 # n for medium 2

#### SPECIFY DATA FOR RUN 3
#InParm # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-3.mco A # output file name

```



# RUN	CPUname-PID	Status	Time	End	Start	File
...						
33	node059.bfg-26083	done	13.261 hrs	23:40 04/16/08	10:25 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S20.0.mco
34	node053.bfg-10990	done	4.527 hrs	15:03 04/16/08	10:31 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S22.0.mco
35	node095.bfg-21625	80 %	21:42 04/19/08	07:45 04/20/08	10:33 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S26.0.mco
36	node096.bfg-29160	40 %	16:14 04/19/08	22:16 04/22/08	10:36 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S30.0.mco
37	node095.bfg-60780	done	65.203 hrs	03:52 04/19/08	10:40 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S35.0.mco
38	node094.bfg-21240	20 %	19:52 04/19/08	21:33 05/03/08	11:24 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S40.0.mco
39	node053.bfg-10990	done	0.000 hrs	15:03 04/16/08	15:03 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.1_S-0.0.mco
40	node053.bfg-10990	done	0.000 hrs	15:03 04/16/08	15:03 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.1_S-0.1.mco
41	node053.bfg-10990	done	0.000 hrs	15:03 04/16/08	15:03 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.1_S-0.2.mco

GRID-enhanced simulation of a human skin model

GRID-enhanced version of the MCML-Code:

```

144 # number of runs

#### SPECIFY DATA FOR RUN 1
#InParm # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-1.mco A # output file name
500000 # No. of photons
0.01 0.01 # dz, dr [cm]
40 150 1 # No. of dz, dr
45 0.165 0.5 0 0 # theta0 [degree]

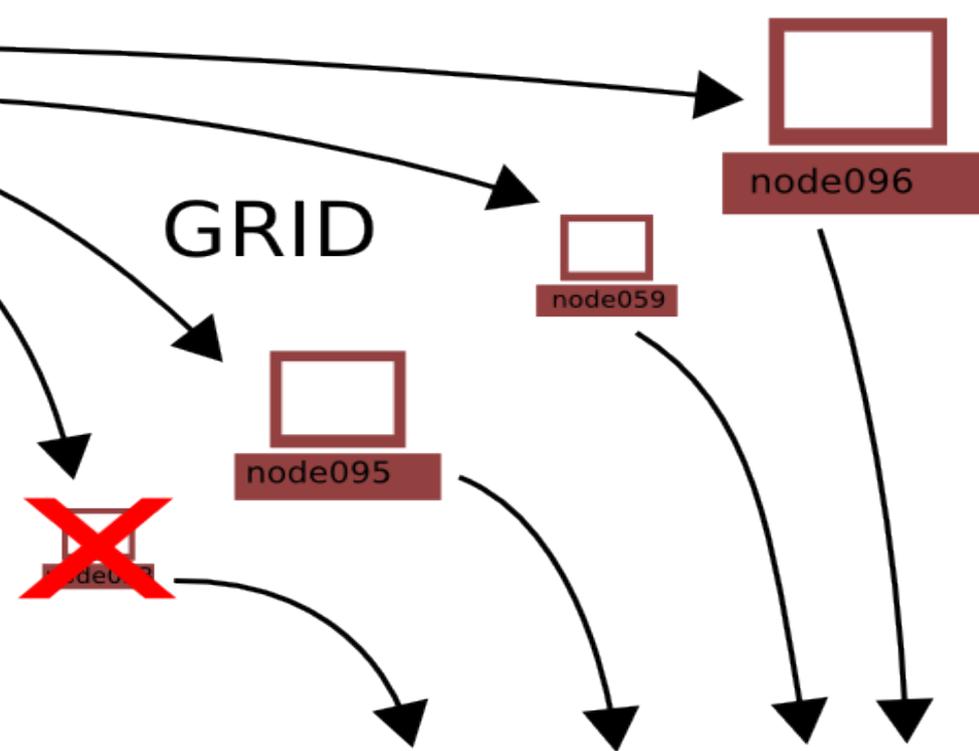
1 # Number of layers
# n mua mus g d # One line for each layer
1 # n for medium 1
1.4037 0 1 0 0.293 # layer 1
1 # n for medium 2

#### SPECIFY DATA FOR RUN 2
#InParm # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-2.mco A # output file name
500000 # No. of photons
0.01 0.01 # dz, dr [cm]
40 150 1 # No. of dz, dr
45 0.165 0.5 0 0 # theta0 [degree]

1 # Number of layers
# n mua mus g d # One line for each layer
1 # n for medium 1
1.4037 0 2 0 0.293 # layer 1
1 # n for medium 2

#### SPECIFY DATA FOR RUN 3
#InParm # Input parameter
PDMS_20_G0.000_A0_S-3.mco A # output file name

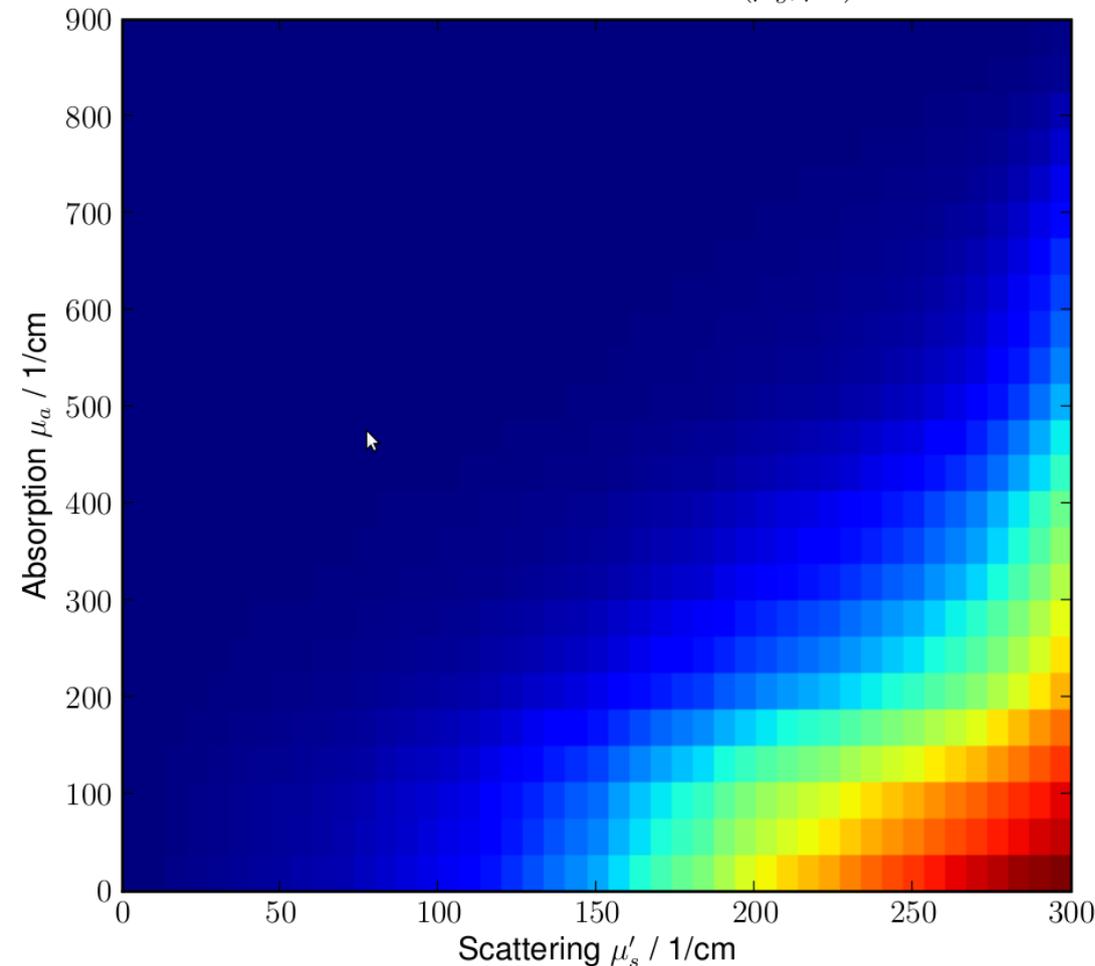
```



# RUN	CPUname-PID	Status	Time	End	Start	File
...						
33	node059.bfg-26083	done	13.261 hrs	23:40 04/16/08	10:25 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S20.0.mco
34	node053.bfg-10990	done	4.527 hrs	15:03 04/16/08	10:31 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S22.0.mco
35	node095.bfg-21625	80 %	21:42 04/19/08	07:45 04/20/08	10:33 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S26.0.mco
36	node096.bfg-29160	40 %	16:14 04/19/08	22:16 04/22/08	10:36 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S30.0.mco
37	node095.bfg-60780	done	65.203 hrs	03:52 04/19/08	10:40 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S35.0.mco
38	node094.bfg-21240	20 %	19:52 04/19/08	21:33 05/03/08	11:24 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.0_S40.0.mco
39	node053.bfg-10990	done	0.000 hrs	15:03 04/16/08	15:03 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.1_S-0.0.mco
40	node053.bfg-10990	done	0.000 hrs	15:03 04/16/08	15:03 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.1_S-0.1.mco
41	node053.bfg-10990	break		15:03 04/16/08	15:03 04/16/08	Haut_G0.90_A-0.1_S-0.2.mco

Erhaltene Daten:

Reflectance Inside Detector $R(\mu'_s, \mu_a) / \text{a.u.}$

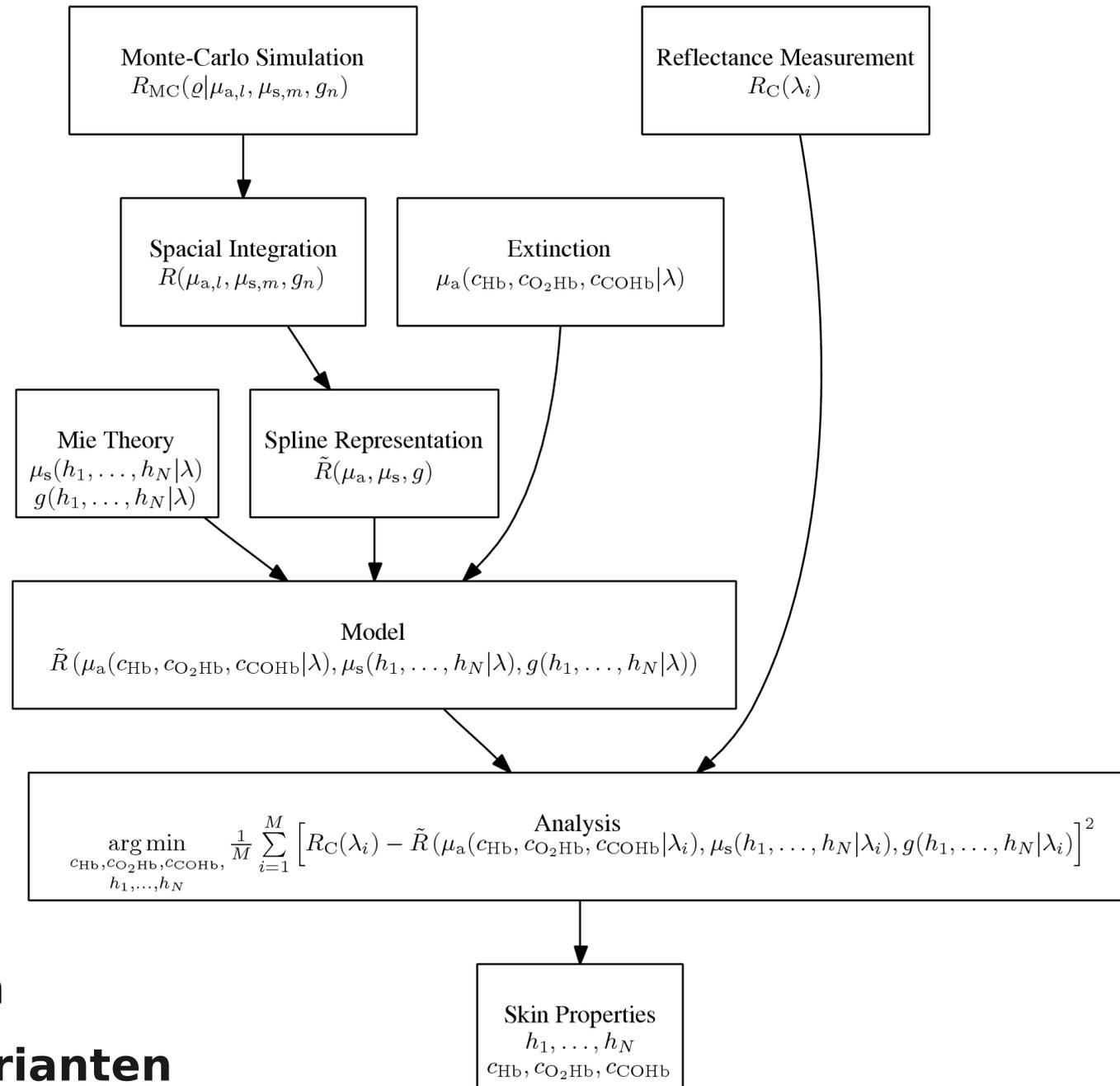


```

1|; -*- fmf-version: 1.0; coding: iso-8859-15 -*-
2[*reference]
3creator: "Philippe-André Bourdin and Andreas W. Liehr"
4created: 2009-03-13
5title: Steady state Monte-Carlo simulation of turbid media
6place: Freiburger Materialforschungszentrum (FMF)
7[simulation]
8program: MCML 1.4
9model: semi-infinite skin model
10number of layers: n_L = 1
11layer thickness: d_L = 10 cm
12refraction index: n_M = 1.36
13reflectance integration: inside detector
14[summary]
15program: MCOmSOLiDATE.pl (revision 4045)
16[parameters]
17detector radius (semiminor axis): r_D = 0.342 cm
18detector x shift: x_D = 0 cm
19detector y shift: y_D = 0 cm
20beam angle: theta_0 = 45 deg (0 = perpendicular)
21beam radius: r_S = 0.1 cm
22number of photon packets: n_{pp} = 100000
23[*data definitions]
24absorption: \mu_a [cm^-1]
25scattering: \mu_s^\prime [cm^-1]
26anisotropy: g
27reflectance inside detector: R(\mu_a, \mu_s^\prime, g)
28[*data]
29#      \mu_a  \mu_s^\prime      g      R
30      0      0      0      0.000000
31      0      0.1      0      0.011043
32      0      0.2      0      0.022027
33      0      0.3      0      0.031201
34      0      0.4      0      0.040374
35      0      0.5      0      0.049043
36      0      0.6      0      0.056948
37      0      0.7      0      0.064222
38      0      0.8      0      0.072824
39      0      0.9      0      0.079372
40      0      1      0      0.087548
41      0      1.2      0      0.100179
42      0      1.4      0      0.114777
43      0      1.6      0      0.126168
44      0      1.8      0      0.138896
45      0      2      0      0.152767

```

**Nicht-lineare
Regularisierung:**



**=> Konzentrationen
der Hämoglobin-Varianten**

Physikalische Datenformate





Grundlegende Vergleiche:

- Text-Dateien:

Einfaches Format, Flexibilität hängt vom Programmierer ab,
Speicherplatz wird sehr ineffizient belegt (8-fach)

- Binäre Dateien:

Format abhängig von Programmiersprache und Prozessortyp,
Struktur ist fixiert, sehr effizient, enthält i.d.R. keine Meta-Daten



Grundlegende Vergleiche:

- Text-Dateien:

Einfaches Format, Flexibilität hängt vom Programmierer ab,
Speicherplatz wird sehr ineffizient belegt (8-fach)

- Binäre Dateien:

Format abhängig von Programmiersprache und Prozessortyp,
Struktur ist fixiert, sehr effizient, enthält i.d.R. keine Meta-Daten

- Physikalische Datenformate:

Einfaches Format, volle Flexibilität, einheitenbehaftete Daten,
Struktur ist selbsterklärend, höchste Effizienz, enthält Meta-Daten

Beispiele: **NetCDF**, **HDF5**, **Full-Metadata-Format (FMF)**



Anwendung von HDF5:

- NASA Earth Observing System (EOS):

wird bis 2014 ca. 15 Petabyte Daten in HDF speichern



Anwendung von HDF5:

- NASA Earth Observing System (EOS):

wird bis 2014 ca. 15 Petabyte Daten in HDF speichern

- Import-/Exportmöglichkeiten:

Zahlreiche Programmiersprachen, Visualisierungs- und Analyseprogramme bieten den HDF5-Im-/Export bereits an:
Fortran, C/C++, Java, IDL, ROOT, Matlab, Mathematica, R, etc.

- Visualisierung:

direkte Datenansicht mit HDFexplorer und HDF5view bzw.
visuell mit TechPlot, ParaView (VTK), Vapor (VDK), VisIt (Pixie)

Elektronisches Laborbuch





Anforderung:

- EU-finanzierte Projekte:

Dokumentation und Reproduzierbarkeit der Resultate für 10 Jahre

Anforderung:

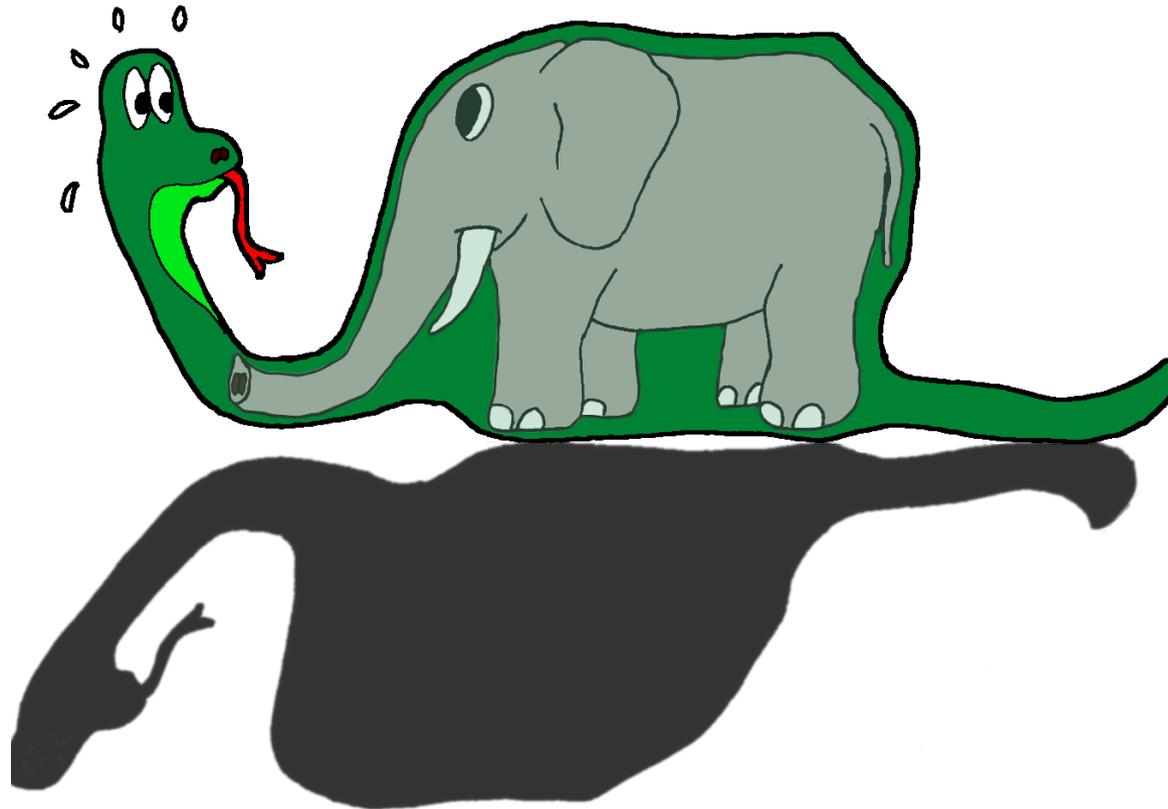
- EU-finanzierte Projekte:

Dokumentation und Reproduzierbarkeit der Resultate für 10 Jahre

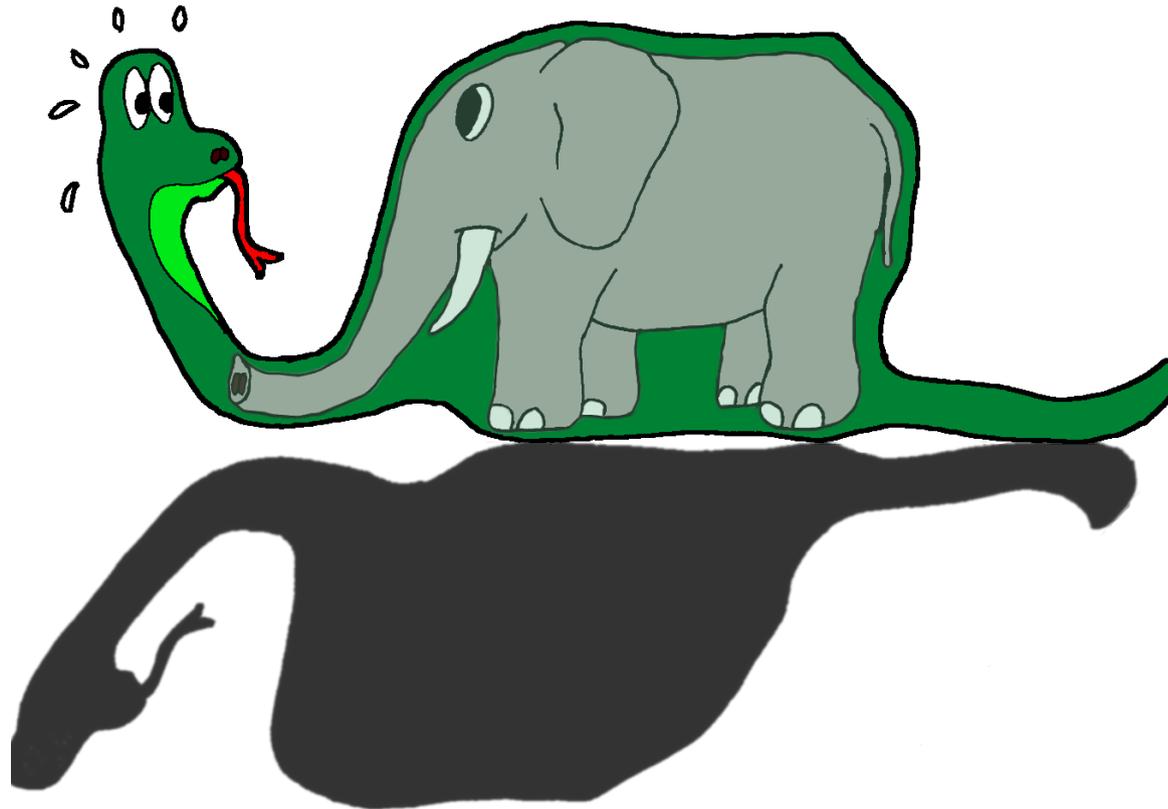
Lösungsweg:

- * Archivierung aller eigenen Programmcodes z.B. mit Subversion
- * Speicherung des „Rezepts“ zur Generierung von Daten:
 - die genutzten Quell-Daten/-Parameter inkl. Zeitstempel
 - Revisionsnummern aller benutzten Verarbeitungsprogramme
 - Hierarchie des Verarbeitungsweges
- * Archivierung des eigentlichen Resultats

Pyphant & Full-Metadaten-Format:

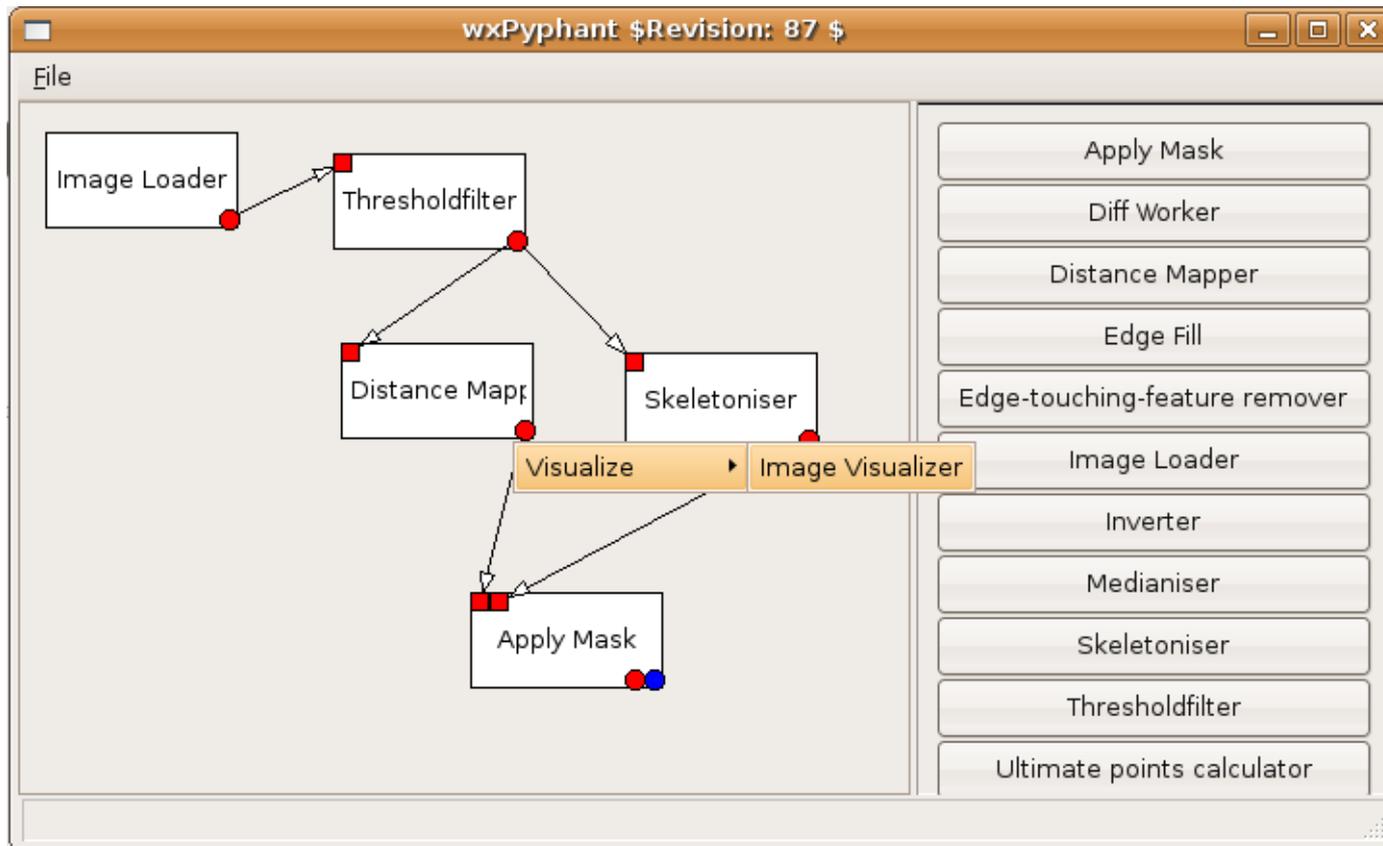


Pyphant & Full-Metadaten-Format:

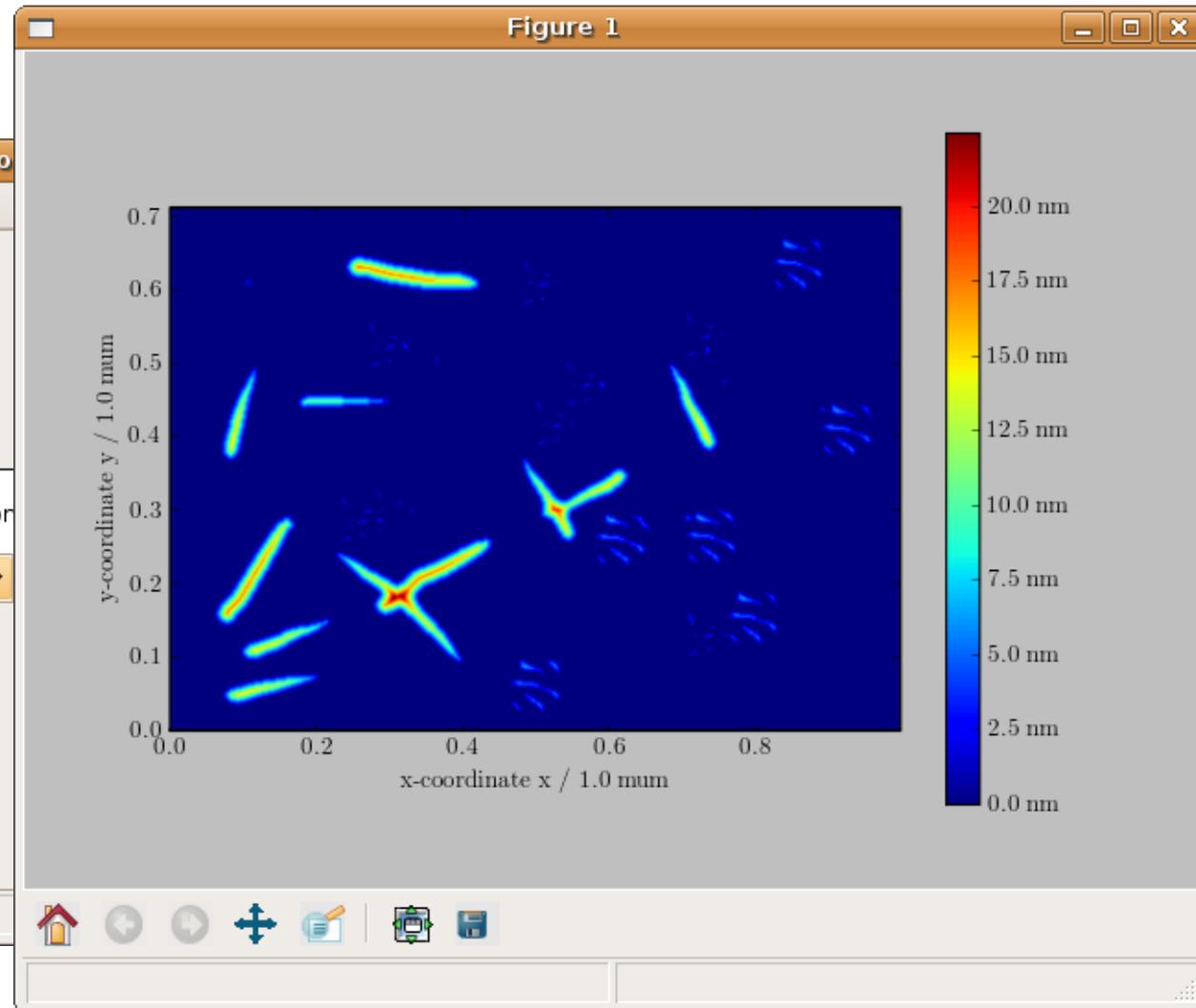
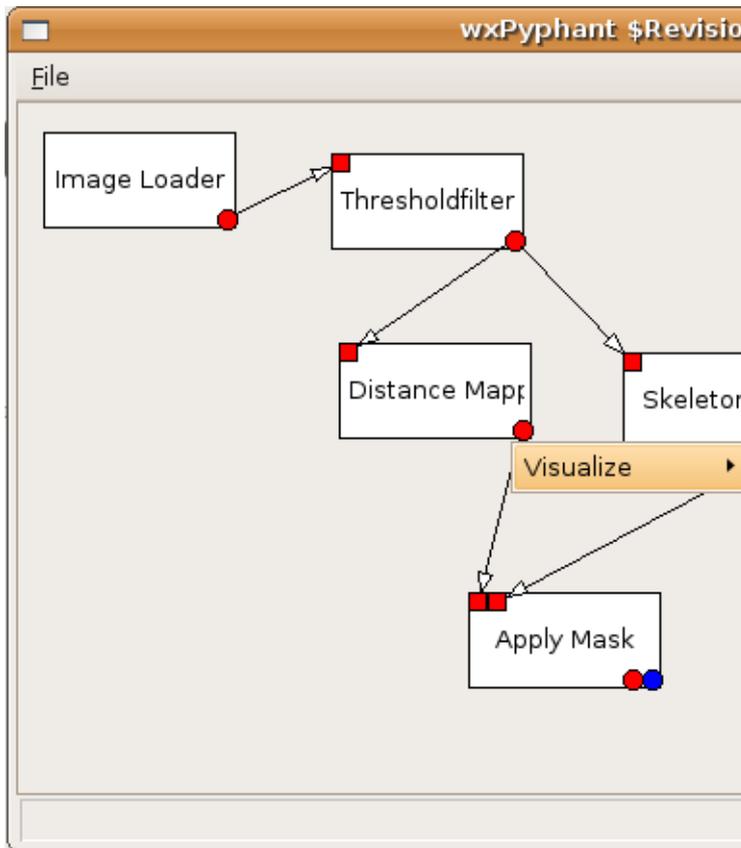


- * e-Laborbuch im Sinne eines „Rezept-Archivs“ zur Dokumentation
- * benutzt Physikalisches Datenformat mit Unterstützung von HDF5

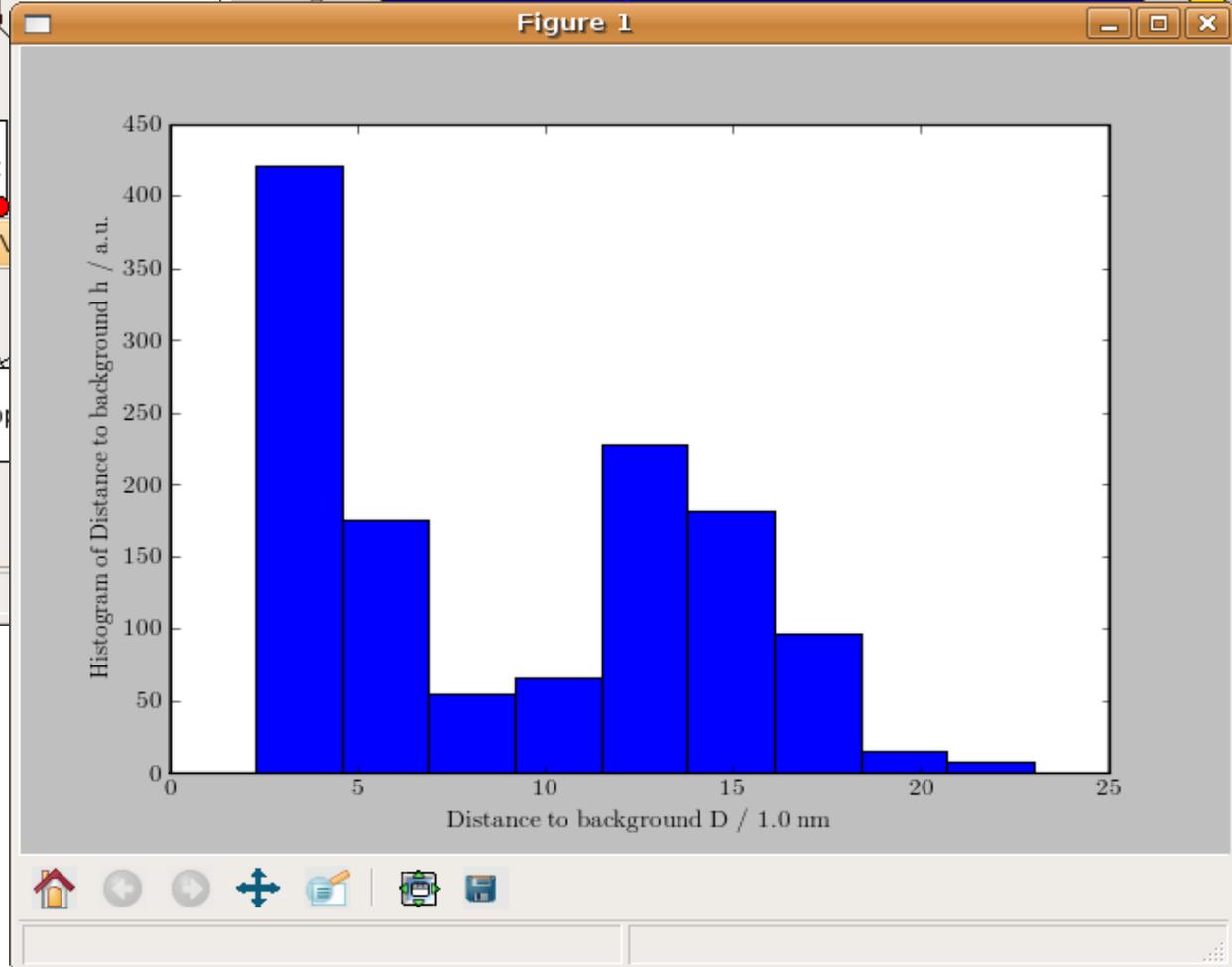
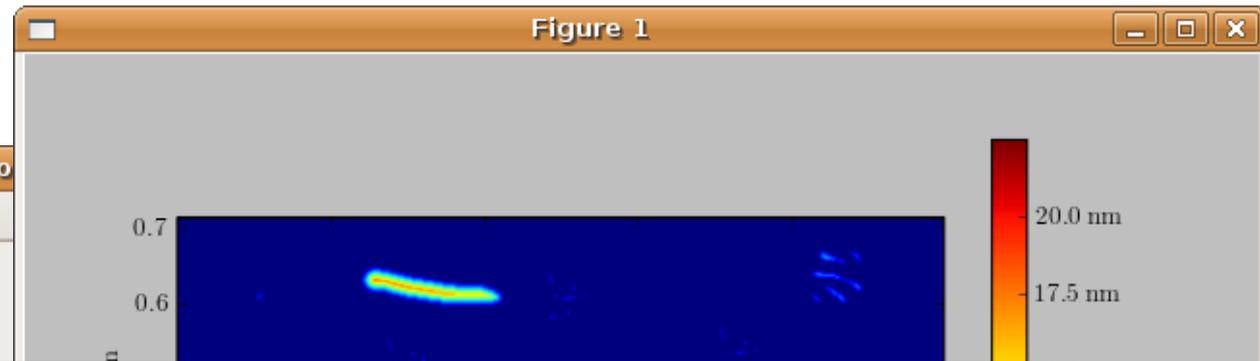
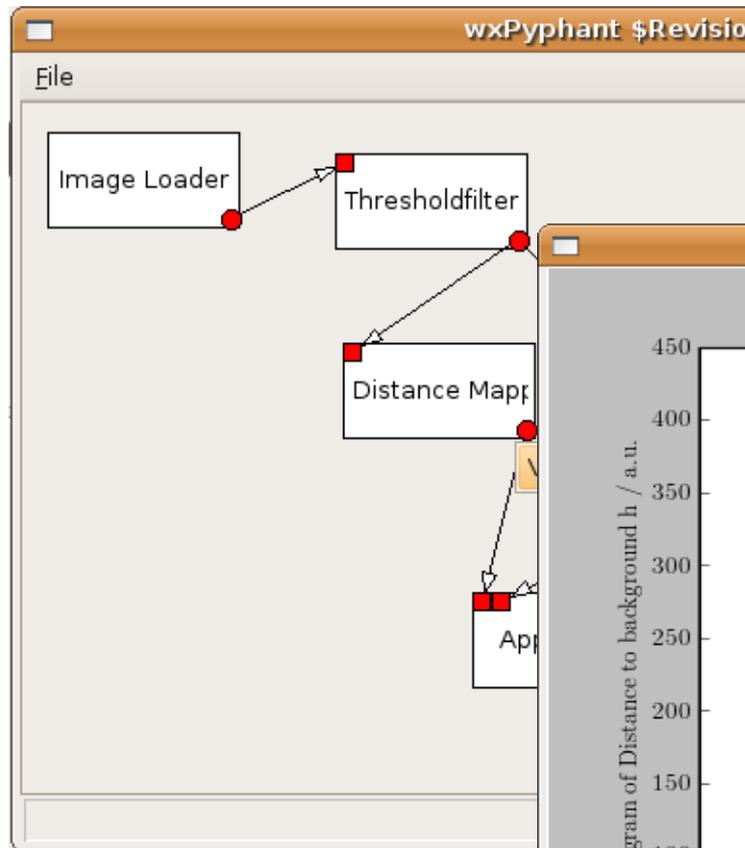
Pyphant:



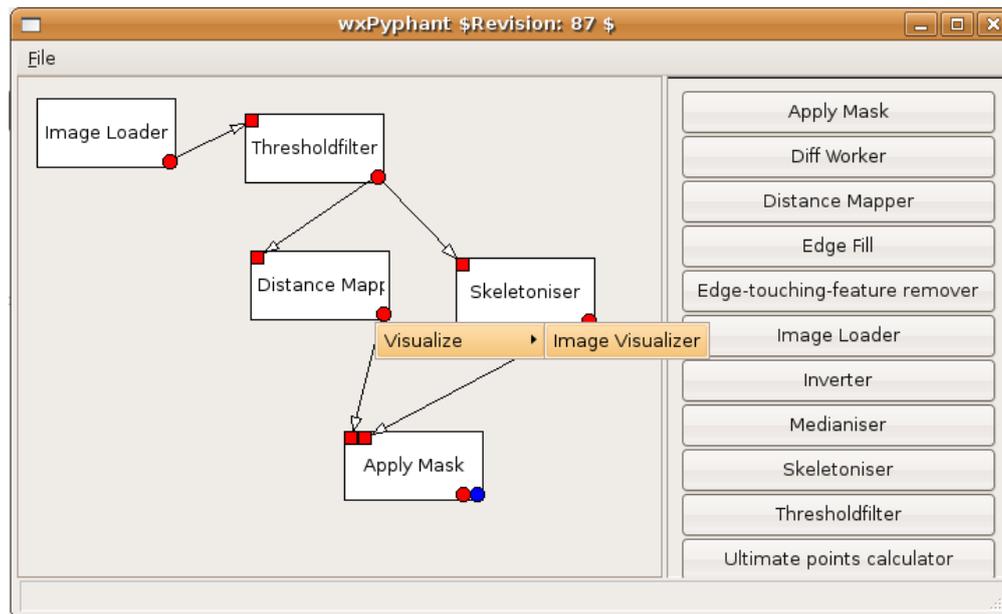
Pyphant:



Pyphant:



Pyphant & Full-Metadata-Format:



```

1 |; -*- fmf-version: 1.0; coding: iso-8859-15 -*-
2 [*reference]
3 creator: "Philippe-André Bourdin and Andreas W. Liehr"
4 created: 2009-03-13
5 title: Steady state Monte-Carlo simulation of turbid media
6 place: Freiburger Materialforschungszentrum (FMF)
7 [simulation]
8 program: MCML 1.4
9 model: semi-infinite skin model
10 number of layers: n_L = 1
11 layer thickness: d_L = 10 cm
12 refraction index: n_M = 1.36
13 reflectance integration: inside detector
14 [summary]
15 program: MCONSolidate.pl (revision 4045)
16 [parameters]
17 detector radius (semiminor axis): r_D = 0.342 cm
18 detector x shift: x_D = 0 cm
19 detector y shift: y_D = 0 cm
20 beam angle: theta_0 = 45 deg (0 = perpendicular)
21 beam radius: r_S = 0.1 cm
22 number of photon packets: n_{pp} = 100000
23 [*data definitions]
24 absorption: \mu_a [cm^-1]
25 scattering: \mu_s^\prime [cm^-1]
26 anisotropy: g
27 reflectance inside detector: R (\mu_a, \mu_s^\prime, g)
28 [*data]
29 # \mu_a \mu_s^\prime g R
30 0 0 0 0 0.000000
31 0 0.1 0 0 0.011043
32 0 0.2 0 0 0.022027
33 0 0.3 0 0 0.031201
34 0 0.4 0 0 0.040374
35 0 0.5 0 0 0.049043
36 0 0.6 0 0 0.056948
37 0 0.7 0 0 0.064222
38 0 0.8 0 0 0.072824
39 0 0.9 0 0 0.079372

```

Links:

http://www.FMF.Uni-Freiburg.de/service/servicegruppen/sg_wissinfo/Software/Pyphant

Full-Metadata-Format: <http://arxiv.org/abs/0904.1299>

Fragen...?



Das Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik:



<http://www.KIS.Uni-Freiburg.de/>

Aktuelle Observatorien und Teleskope

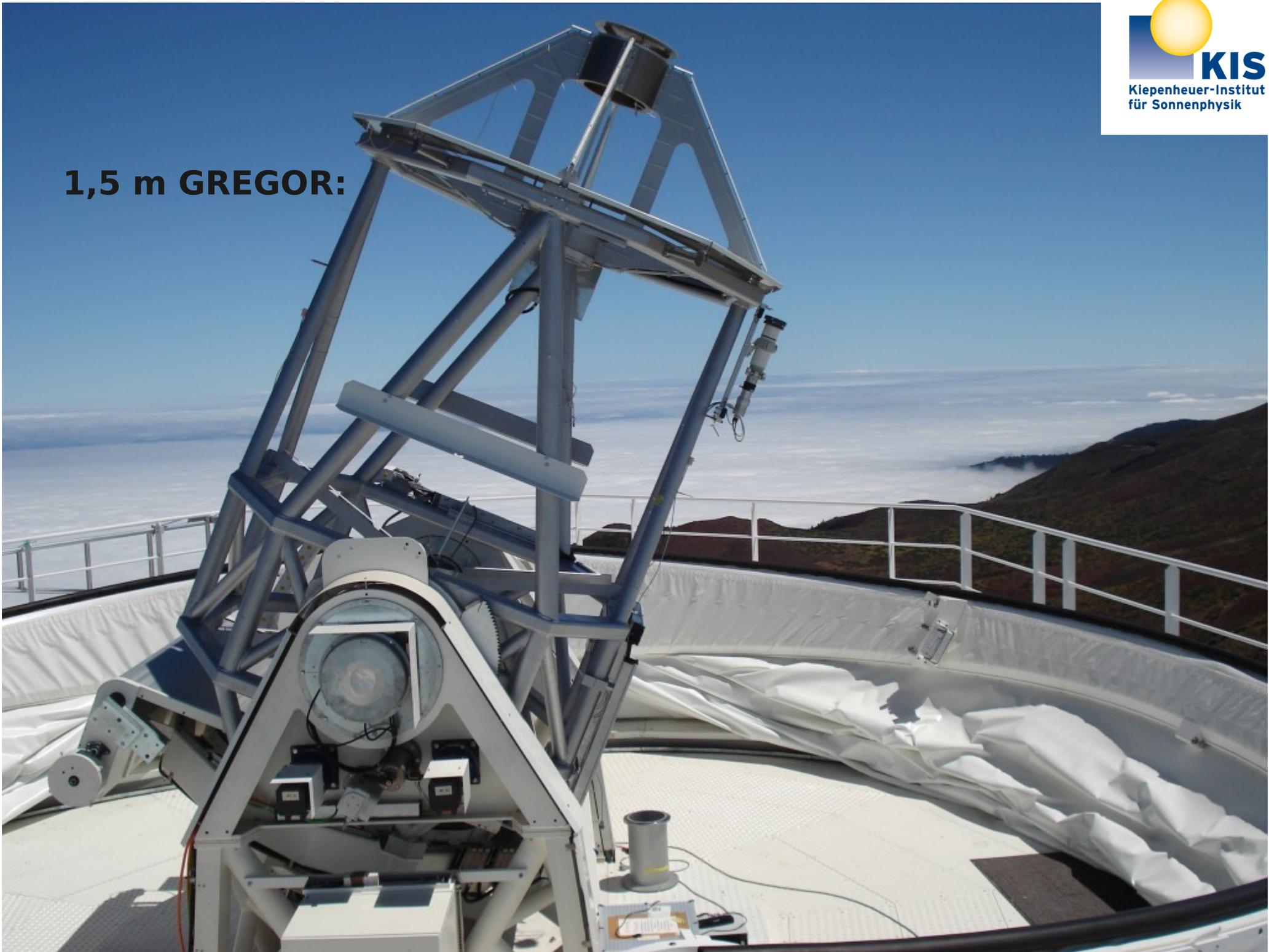


Aktuelle Observatorien und Teleskope

ChroTel with the
buildings of the Newton Telescope
and GREGOR in the background

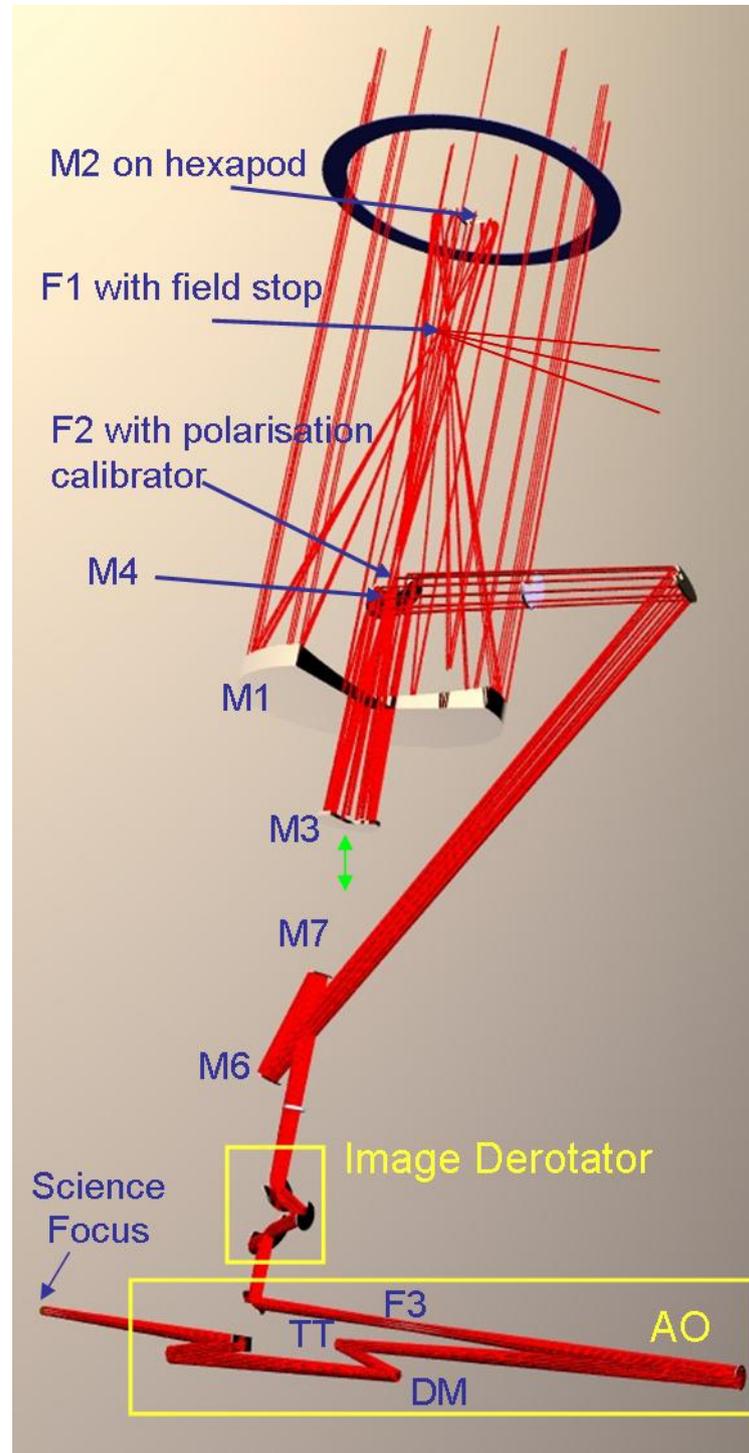


1,5 m GREGOR:



1,5 m GREGOR:

- Strahlengang
- Adaptive Optik
- 70 km Auflösung auf der Sonne
- Spektro-Polarimetrie
- Messung von Magnetfeldern

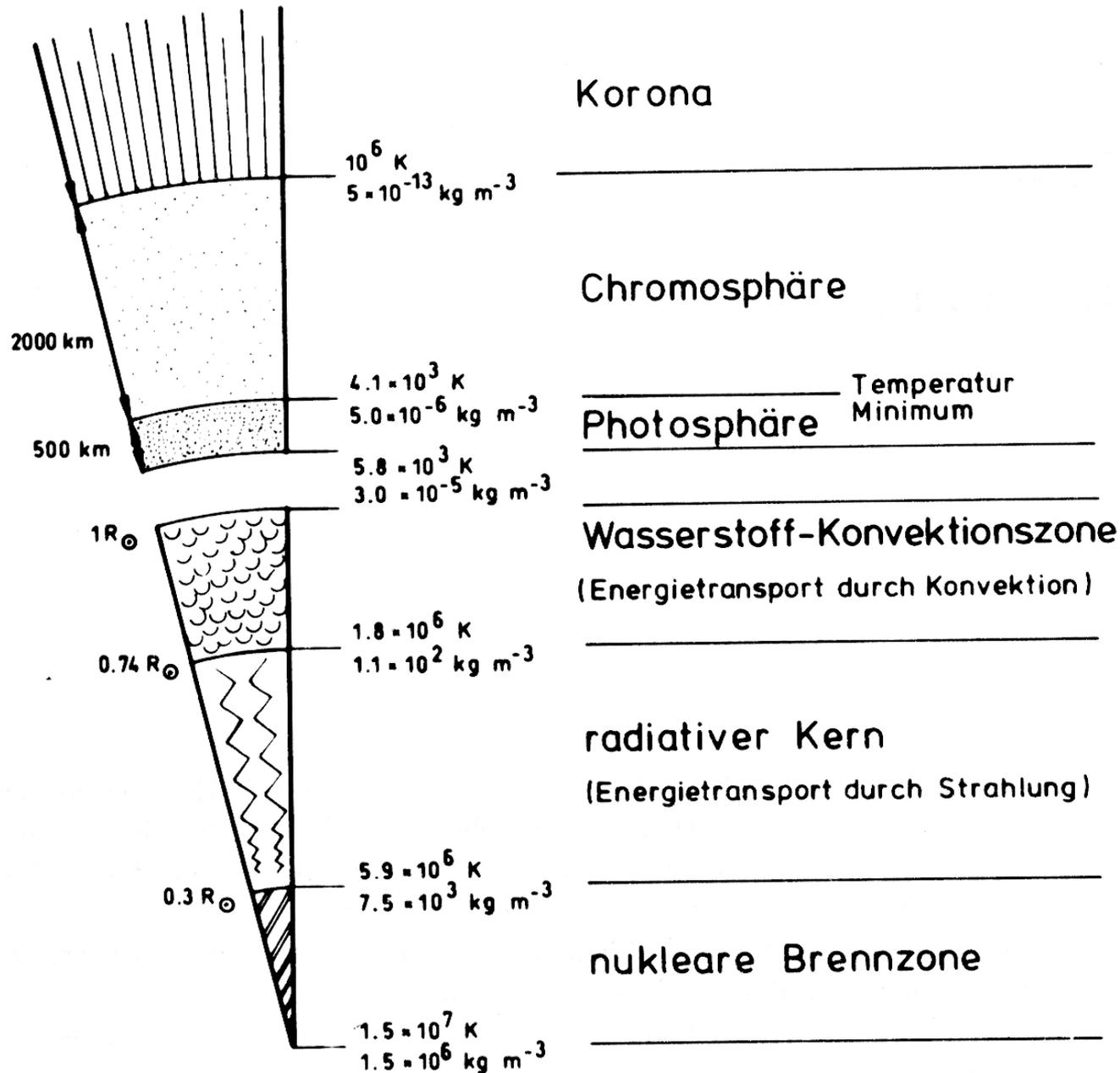


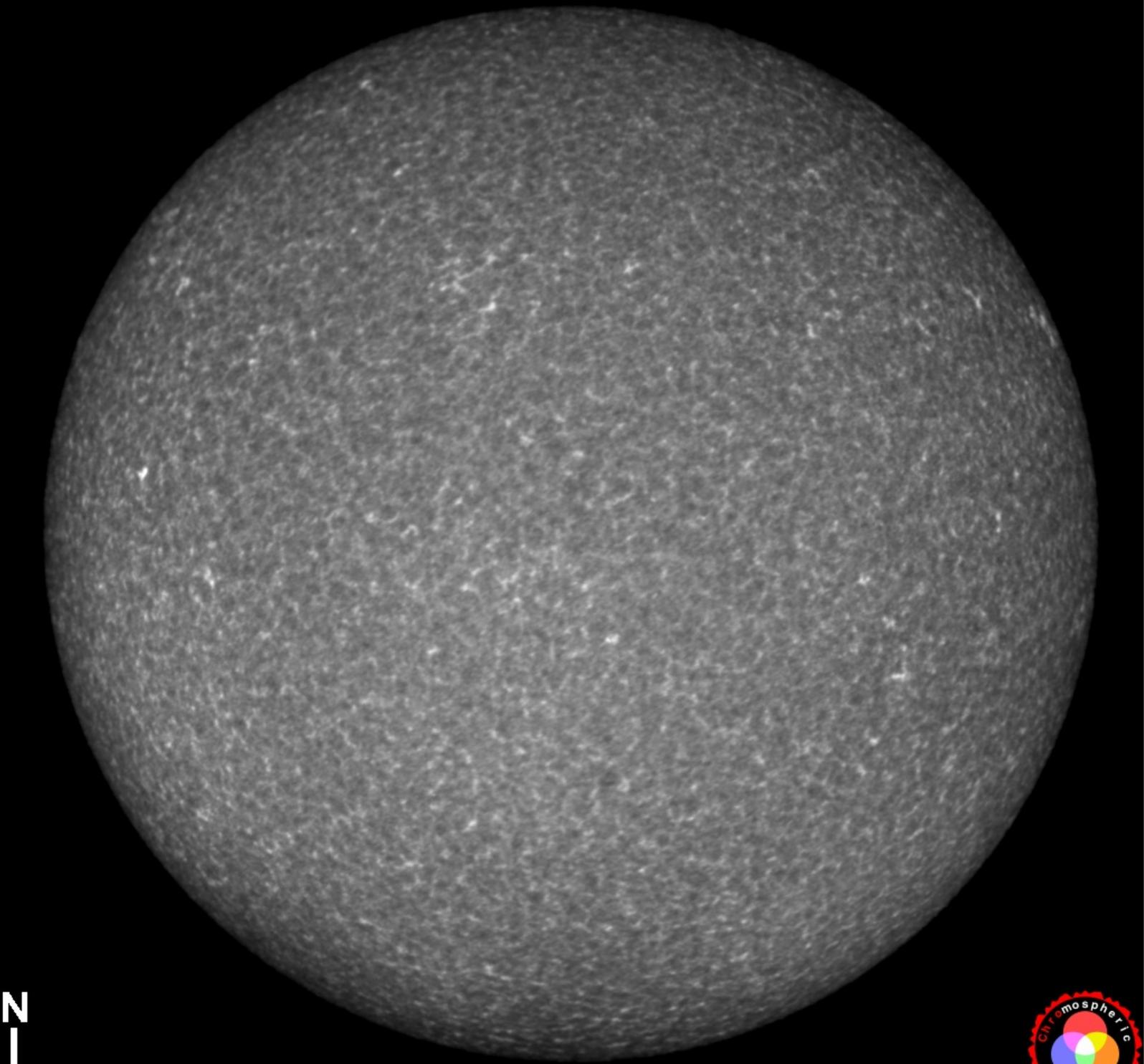
Die Sonne - ein riesiges Plasmaexperiment

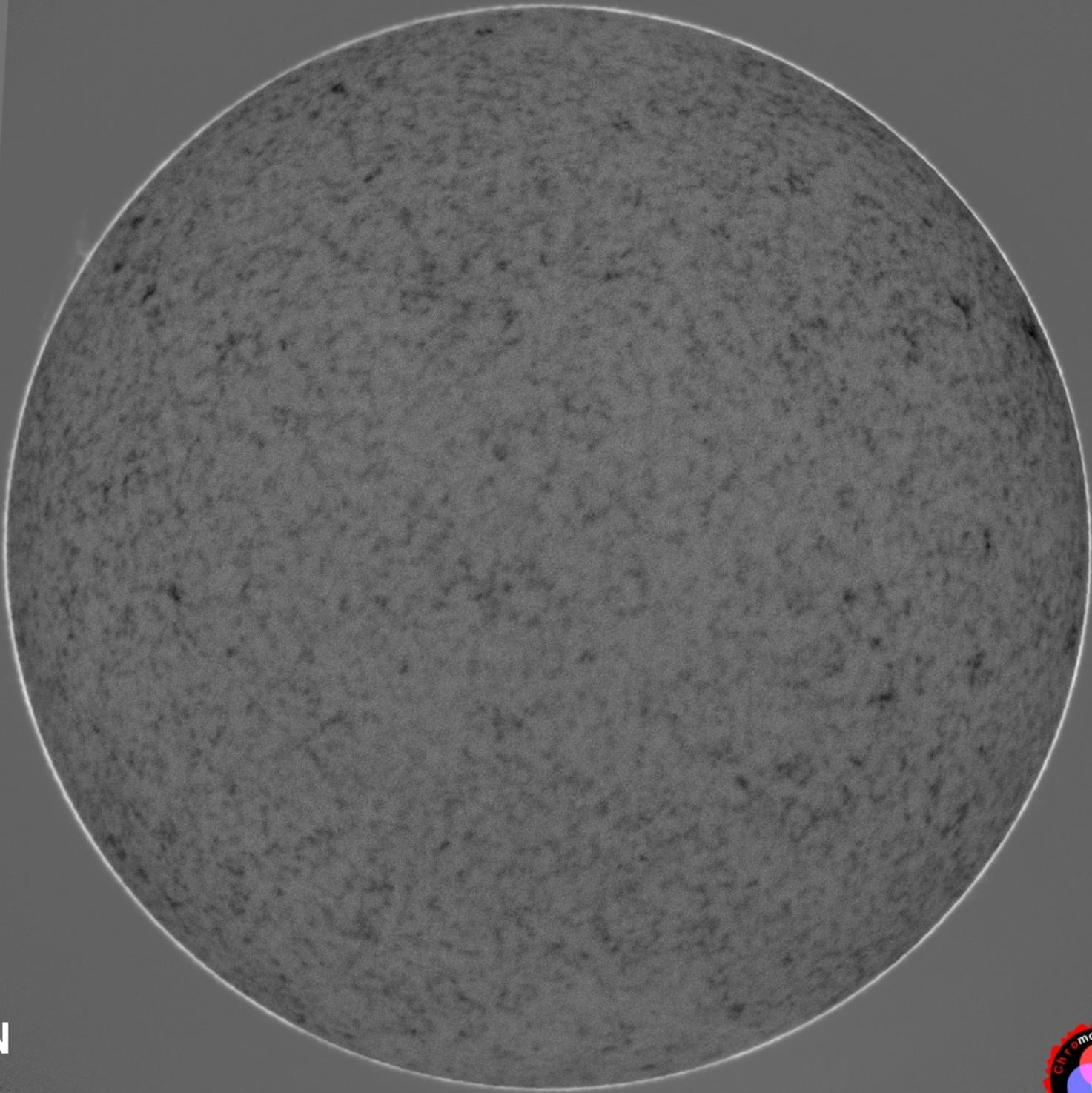


Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Aufbau:



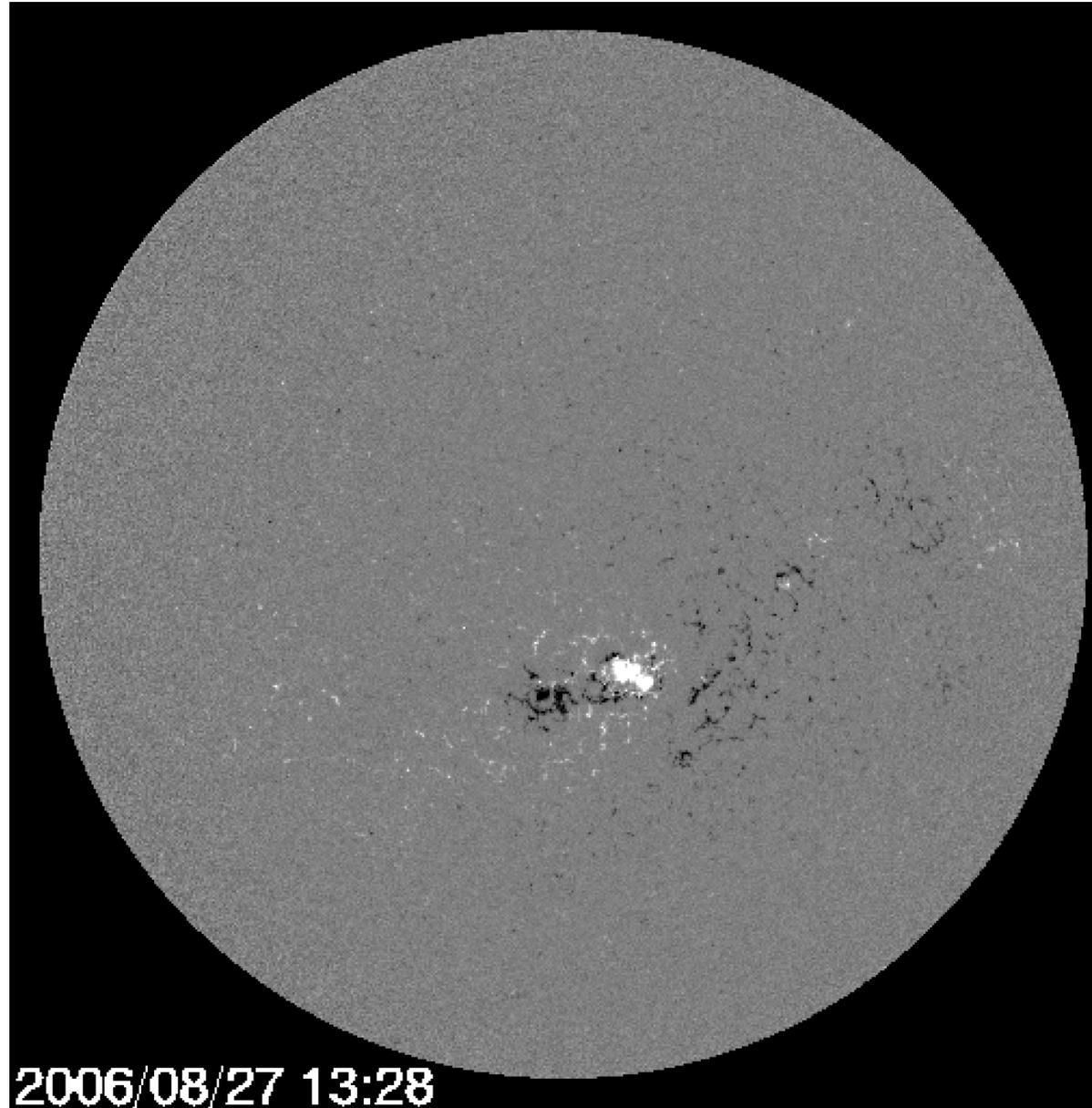




Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Magnetfelder:

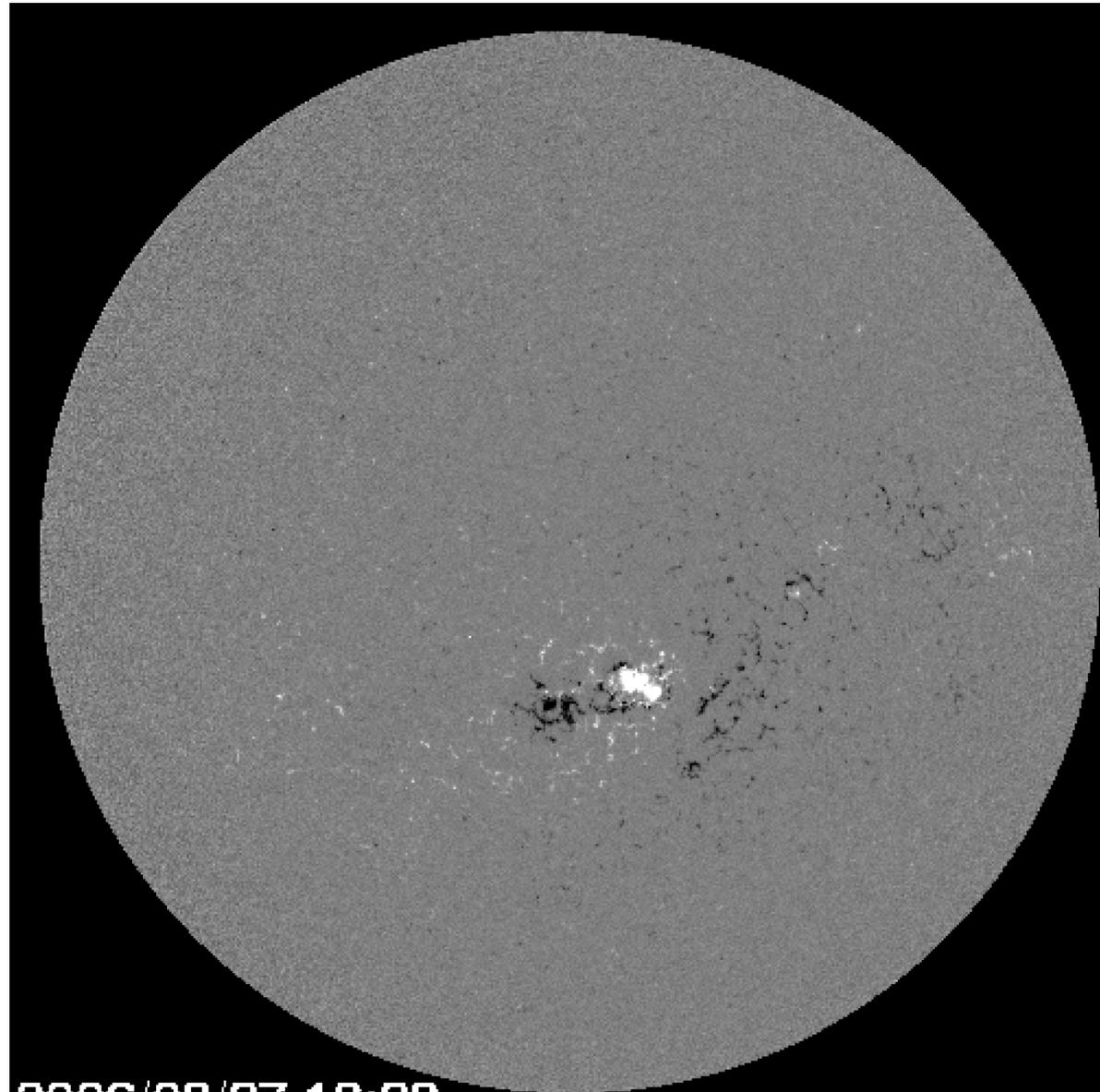
- Beobachtung mit
MDI an Bord von SOHO



Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Magnetfelder:

- Beobachtung mit
MDI an Bord von SOHO
- Aktive Region
mit gemischter Polarität

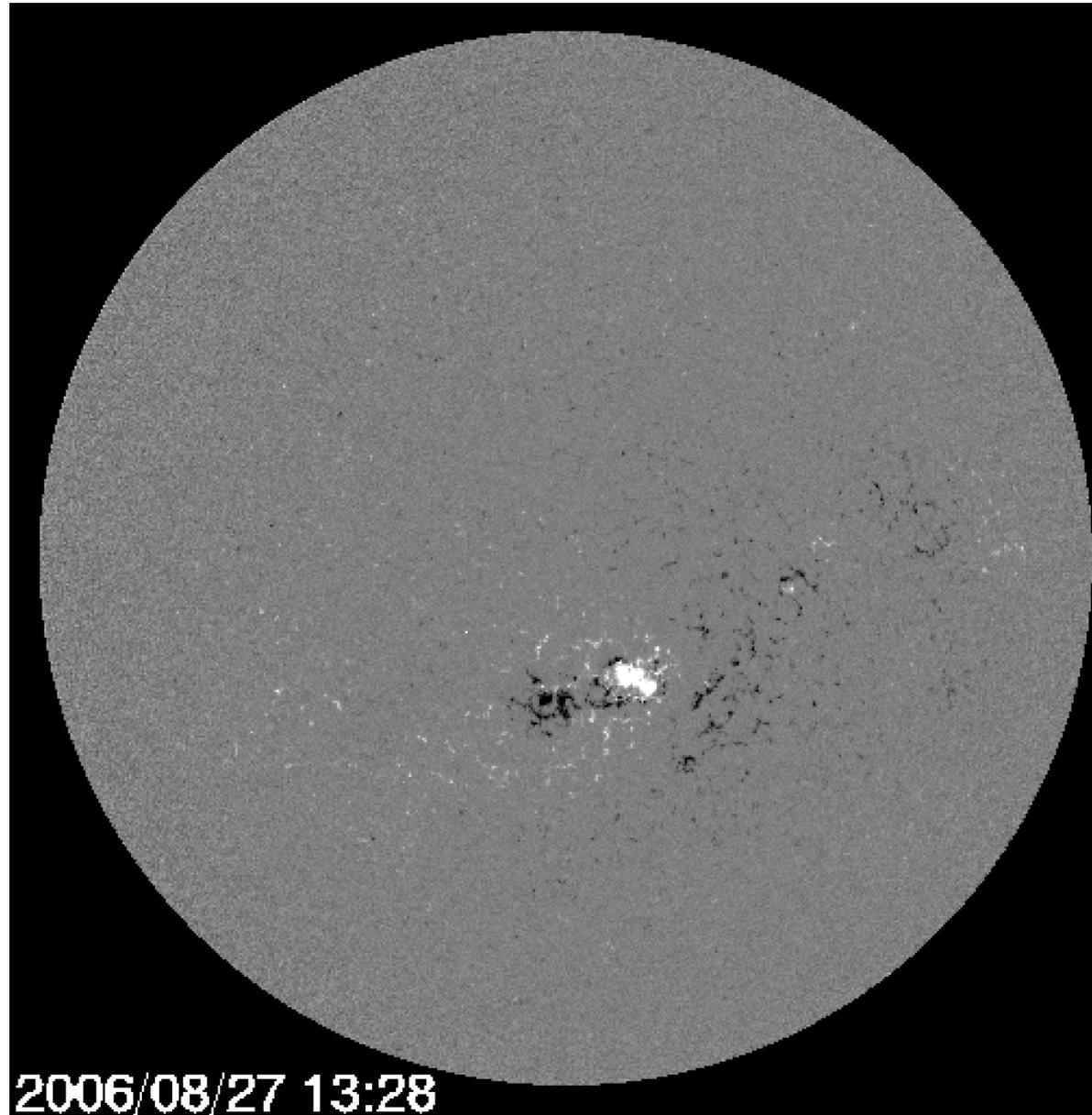


2006/08/27 13:28

Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

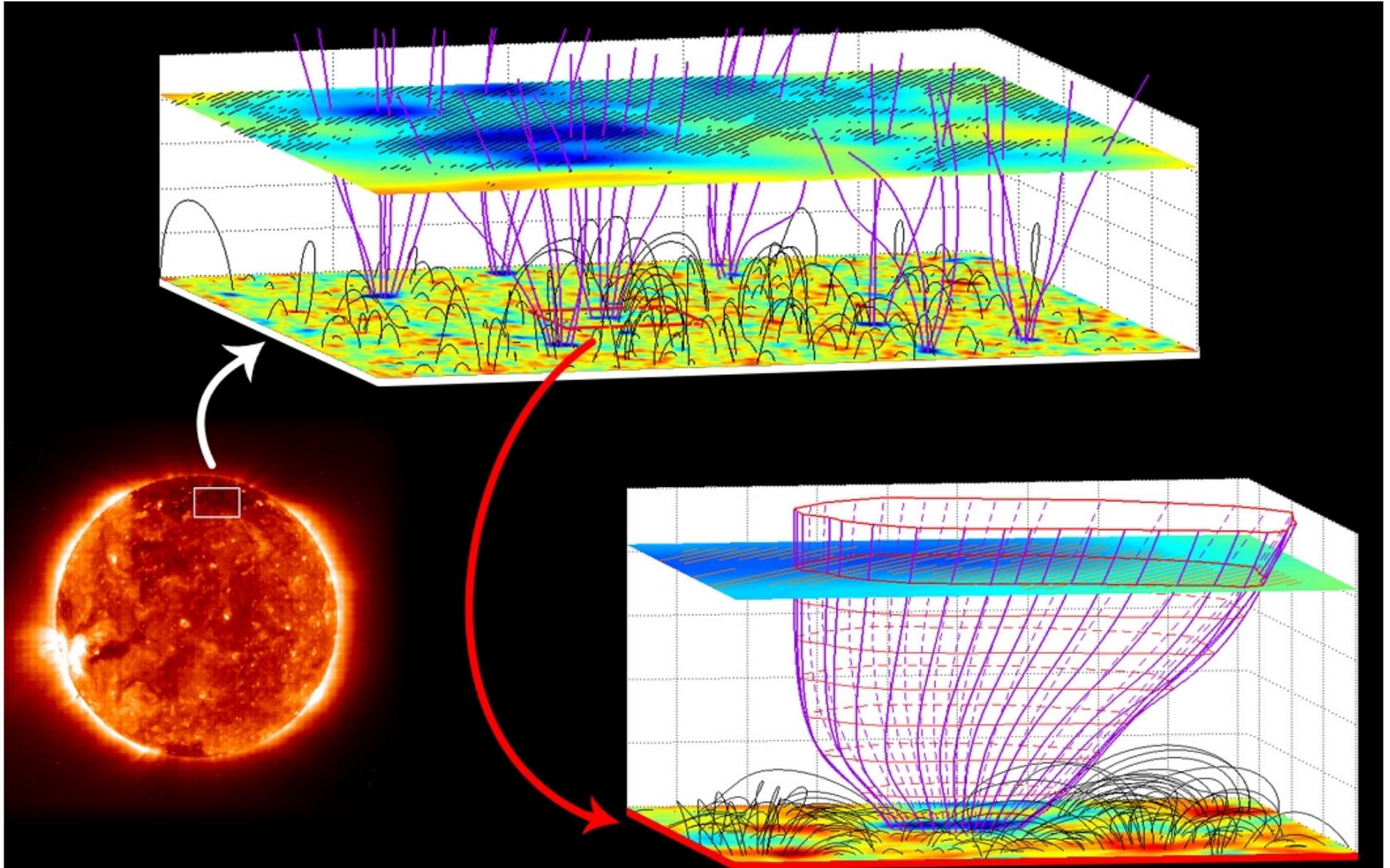
Magnetfelder:

- Beobachtung mit MDI an Bord von SOHO
- Aktive Region mit gemischter Polarität
- Magnetischer Teppich



Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Magnetfelder:

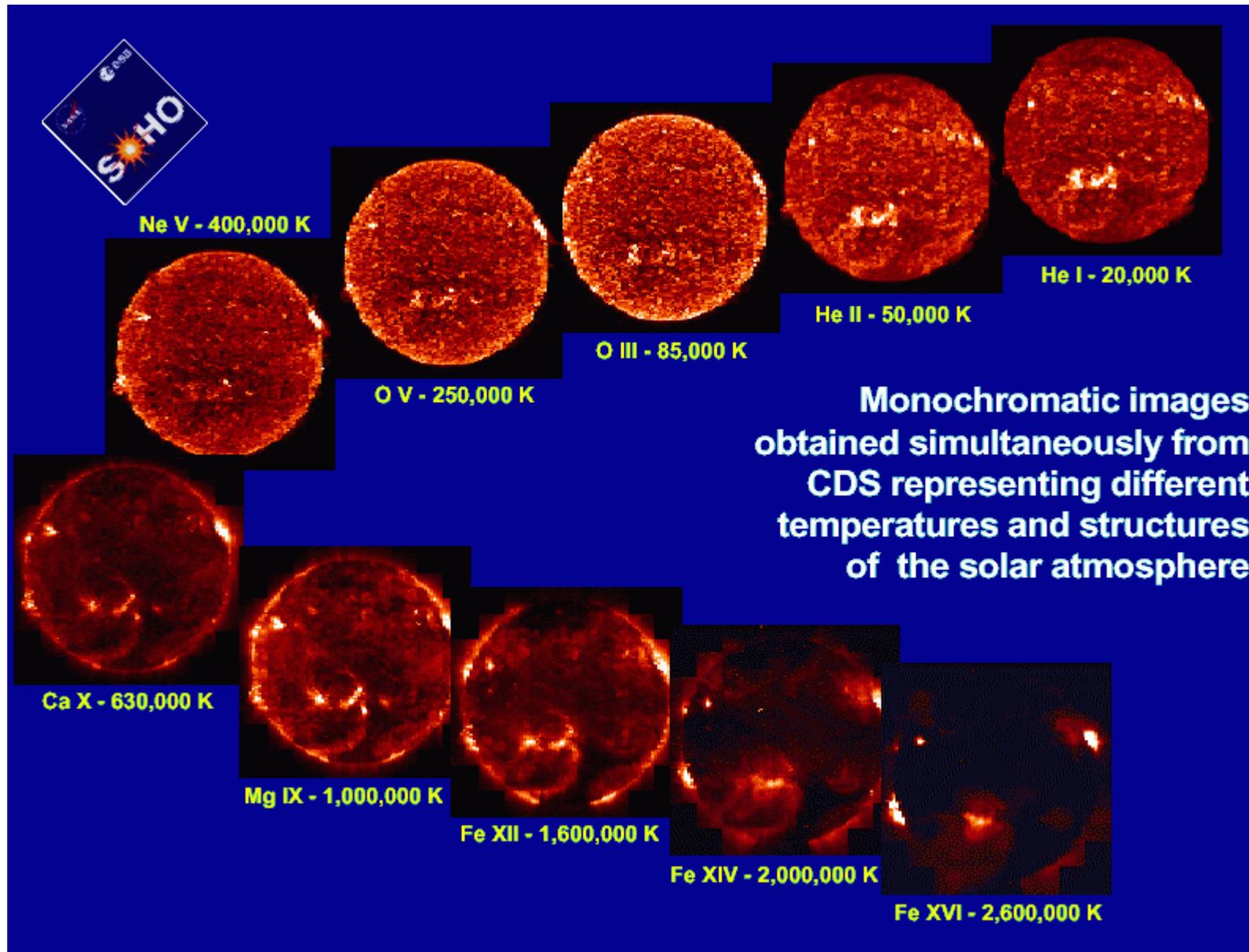


Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Konvektion in der Photosphäre – Reaktion der Chromosphäre:

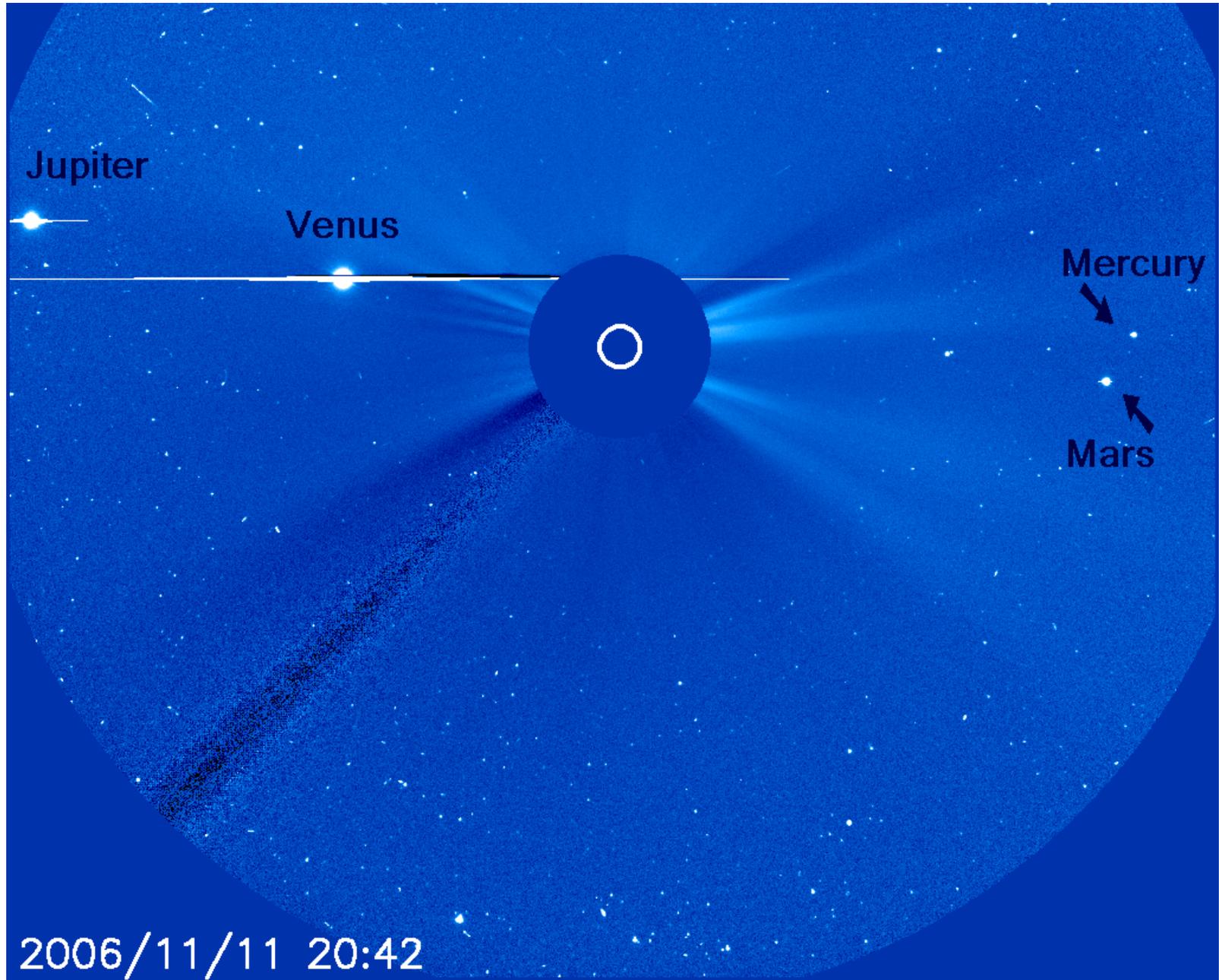


Emissionen bei verschiedenen Temperaturen:



Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Die Korona der Sonne in der Übersicht (LASCO 16° Öffnung):



Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Die Korona während eines Aktivitäts-Maximums mit CME:



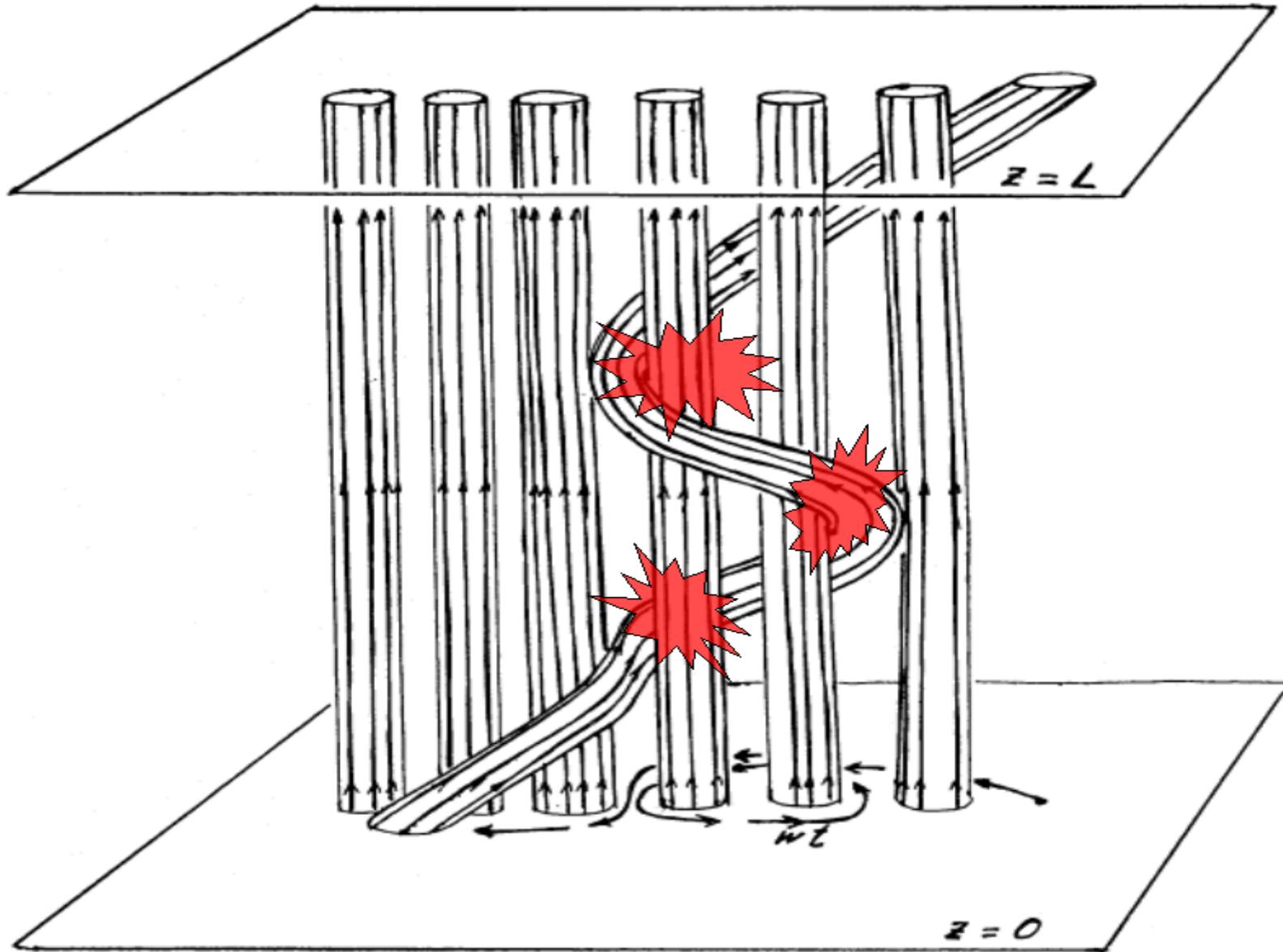
Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Chromosphäre, Photosphäre und Korona mit Flare:



Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Plasmaheizung durch Rekonnektion von Magnetfeldern:



Die Sonne – ein riesiges Plasmaexperiment

Sonnenfleck und Rekonnektion von Magnetfeldern:



3D MHD-simulation of plasma heating in the corona

3D MHD-simulation of plasma heating in the corona

Modellierung:

- Kontinuitätsgleichung: $\frac{D \ln \rho}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{u}$ mit $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$

Modellierung:

- Kontinuitätsgleichung: $\frac{D \ln \rho}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{u}$ mit $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$
- Bewegungsgleichung:
(für ein ideales Gas)
 $c_s = \sqrt{\gamma p / \rho}$
$$\frac{D \mathbf{u}}{Dt} = -c_s^2 \nabla \left(\frac{s}{c_p} + \ln \rho \right) - \nabla \Phi_{Grav} + \frac{1}{\rho} \mathbf{j} \times \mathbf{B}$$
$$+ \nu \left(\nabla^2 \mathbf{u} + \frac{1}{3} \nabla \nabla \cdot \mathbf{u} + 2 \mathbf{S} + \nabla \ln \rho \right) + \zeta (\nabla \nabla \cdot \mathbf{u})$$

Modellierung:

- Kontinuitätsgleichung:
$$\frac{D \ln \rho}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{u} \quad \text{mit} \quad \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$$
- Bewegungsgleichung:
(für ein ideales Gas)
$$c_s = \sqrt{\gamma p / \rho}$$
$$\frac{D \mathbf{u}}{Dt} = -c_s^2 \nabla \left(\frac{s}{c_p} + \ln \rho \right) - \nabla \Phi_{Grav} + \frac{1}{\rho} \mathbf{j} \times \mathbf{B}$$
$$+ \nu \left(\nabla^2 \mathbf{u} + \frac{1}{3} \nabla \nabla \cdot \mathbf{u} + 2 \mathbf{S} + \nabla \ln \rho \right) + \zeta (\nabla \nabla \cdot \mathbf{u})$$
- Induktionsgleichung:
$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = \mathbf{u} \times \mathbf{B} - \frac{1}{\sigma_{el}} \mathbf{j} = \mathbf{u} \times \mathbf{B} - \mu_0 \eta \mathbf{j}$$

Modellierung:

- Kontinuitätsgleichung:
$$\frac{D \ln \rho}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{u} \quad \text{mit} \quad \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$$
- Bewegungsgleichung:
(für ein ideales Gas)
$$c_s = \sqrt{\gamma p / \rho}$$
$$\frac{D \mathbf{u}}{Dt} = -c_s^2 \nabla \left(\frac{s}{c_p} + \ln \rho \right) - \nabla \Phi_{\text{Grav}} + \frac{1}{\rho} \mathbf{j} \times \mathbf{B}$$
$$+ \nu \left(\nabla^2 \mathbf{u} + \frac{1}{3} \nabla \nabla \cdot \mathbf{u} + 2 \mathbf{S} + \nabla \ln \rho \right) + \zeta (\nabla \nabla \cdot \mathbf{u})$$
- Induktionsgleichung:
$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = \mathbf{u} \times \mathbf{B} - \frac{1}{\sigma_{el}} \mathbf{j} = \mathbf{u} \times \mathbf{B} - \mu_0 \eta \mathbf{j}$$
- Energieerhaltung:
$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = \mu_0 \eta \mathbf{j}^2 + \nabla \cdot (K \nabla T) - C + 2 \rho \nu \mathbf{S}^2 + \zeta \rho (\nabla \cdot \mathbf{u})^2$$

Modellierung:

- Kontinuitätsgleichung: $\frac{D \ln \rho}{Dt} = -\nabla \cdot \mathbf{u}$ mit $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla$
- Bewegungsgleichung:
(für ein ideales Gas)
 $c_s = \sqrt{\gamma p / \rho}$
$$\frac{D \mathbf{u}}{Dt} = -c_s^2 \nabla \left(\frac{s}{c_p} + \ln \rho \right) - \nabla \Phi_{Grav} + \frac{1}{\rho} \mathbf{j} \times \mathbf{B}$$

$$+ \nu \left(\nabla^2 \mathbf{u} + \frac{1}{3} \nabla \nabla \cdot \mathbf{u} + 2 \mathbf{S} + \nabla \ln \rho \right) + \zeta (\nabla \nabla \cdot \mathbf{u})$$
- Induktionsgleichung: $\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = \mathbf{u} \times \mathbf{B} - \frac{1}{\sigma_{el}} \mathbf{j} = \mathbf{u} \times \mathbf{B} - \mu_0 \eta \mathbf{j}$
- Energieerhaltung: $\rho T \frac{Ds}{Dt} = \mu_0 \eta \mathbf{j}^2 + \nabla \cdot (K \nabla T) - C + 2 \rho \nu \mathbf{S}^2 + \zeta \rho (\nabla \cdot \mathbf{u})^2$

=> Heizrate: $H \sim \eta \mathbf{j}^2$

Wärmeleitung: $K \nabla T$

Strahlungsverlust: C

=> automatisch ist $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$

große Gradienten in T, ρ werden aufgelöst

3D MHD-simulation of plasma heating in the corona

Modellierung:

- Magnetfelder:

- * MDI-Magnetogramm als untere Randbedingung
- * oben Potentialfeld-Extrapolation für „offene“ Feldlinien

3D MHD-simulation of plasma heating in the corona

Modellierung:

- Magnetfelder:

- * MDI-Magnetogramm als untere Randbedingung
- * oben Potentialfeld-Extrapolation für „offene“ Feldlinien

- Photosphäre:

- * Externer Treiber zur Simulation der Konvektionsbewegung
B. Gudiksen & Å. Nordlund, Comp. Phys. Comm. 147, 471, 2002

3D MHD-simulation of plasma heating in the corona

Modellierung:

- Magnetfelder:

- * MDI-Magnetogramm als untere Randbedingung
- * oben Potentialfeld-Extrapolation für „offene“ Feldlinien

- Photosphäre:

- * Externer Treiber zur Simulation der Konvektionsbewegung
B. Gudiksen & Å. Nordlund, Comp. Phys. Comm. 147, 471, 2002

- Periodische Fortsetzung der Box in den horizontalen Richtungen

Modellierung:

- Magnetfelder:

- * MDI-Magnetogramm als untere Randbedingung
- * oben Potentialfeld-Extrapolation für „offene“ Feldlinien

- Photosphäre:

- * Externer Treiber zur Simulation der Konvektionsbewegung
B. Gudiksen & Å. Nordlund, Comp. Phys. Comm. 147, 471, 2002

- Periodische Fortsetzung der Box in den horizontalen Richtungen

- Temperatur-/Dichteprofil in Abhängigkeit der Höhe, als Anfangsbedingung

3D MHD-simulation: Pencil Code



<http://www.nordita.org/software/pencil-code/>

3D MHD-simulation: Pencil Code

Durchgeführte Arbeiten / Tests:

- Optimierung des Codes:
10-12 % in der Laufzeit



<http://www.nordita.org/software/pencil-code/>

3D MHD-simulation: Pencil Code

Durchgeführte Arbeiten / Tests:

- Optimierung des Codes:
10-12 % in der Laufzeit



<http://www.nordita.org/software/pencil-code/>

- Verschiedene Compiler (gfortran, ifort):
ifort auf Intel-Maschinen besser (25 % in der Laufzeit)

Durchgeführte Arbeiten / Tests:



- Optimierung des Codes:
10-12 % in der Laufzeit

<http://www.nordita.org/software/pencil-code/>

- Verschiedene Compiler (gfortran, ifort):
ifort auf Intel-Maschinen besser (25 % in der Laufzeit)
- Geschwindigkeits-Vergleich (mit/ohne Infiniband):
Leerlauf von ca. 50 % ohne Infiniband

Durchgeführte Arbeiten / Tests:

- Optimierung des Codes:
10-12 % in der Laufzeit



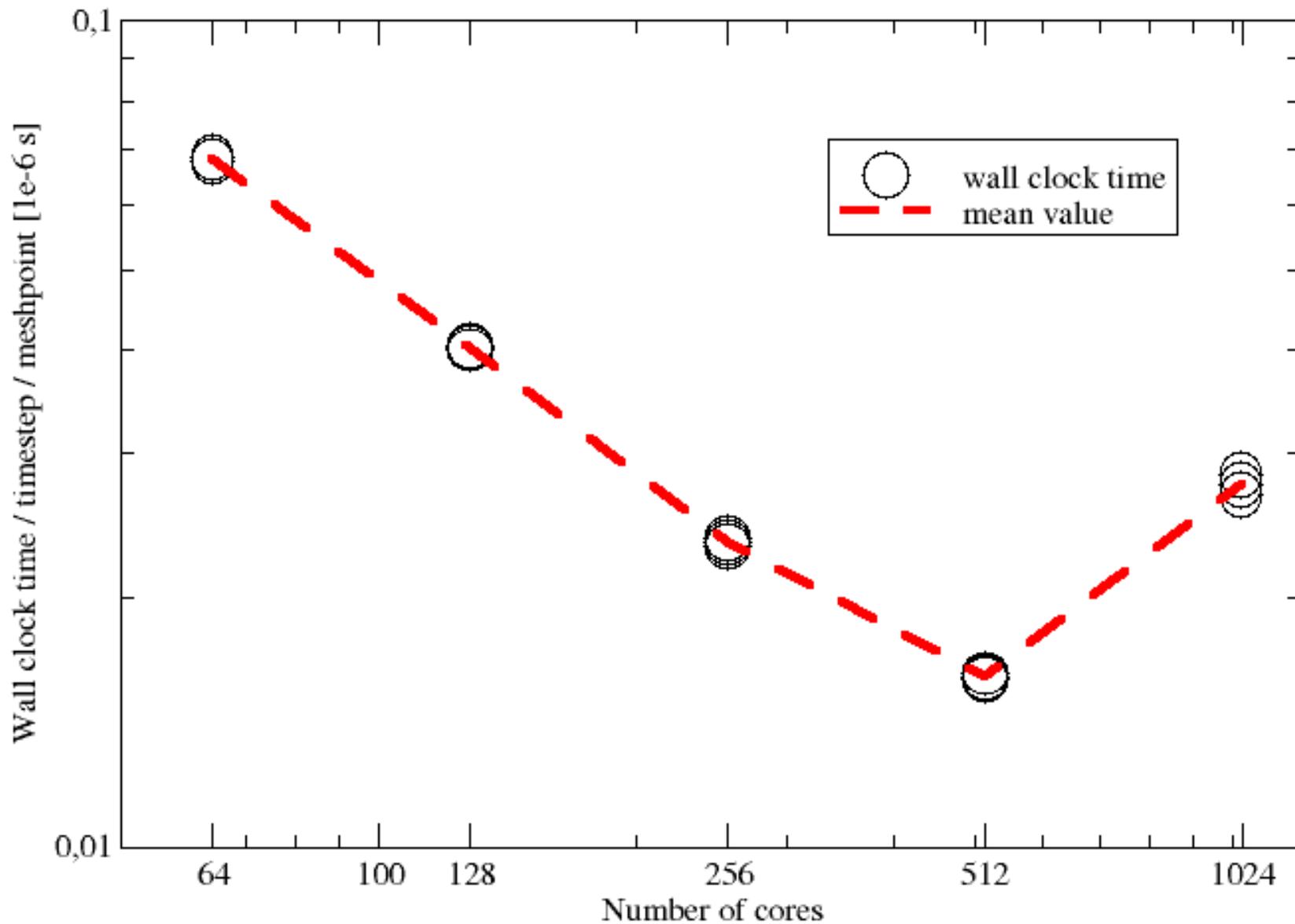
<http://www.nordita.org/software/pencil-code/>

- Verschiedene Compiler (gfortran, ifort):
ifort auf Intel-Maschinen besser (25 % in der Laufzeit)
- Geschwindigkeits-Vergleich (mit/ohne Infiniband):
Leerlauf von ca. 50 % ohne Infiniband
- Umstellung des Datenformates auf HDF5 (in Vorbereitung)

Skalierbarkeit:

Benchmark: Xeon 3 GHz, 4 MB L2-Cache

Scalability of the Pencil Code regarding number of cores for a fixed setup



3D MHD-simulation: Auflösungeffekte

3D MHD-simulation: Auflösungeffekte

Räumliche Auflösung:

- Feste Boxgröße von $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$
- Variable Gitterabstände:
 - ~800 km (64^3), ~400 km (128^3), ~200 km (256^3)

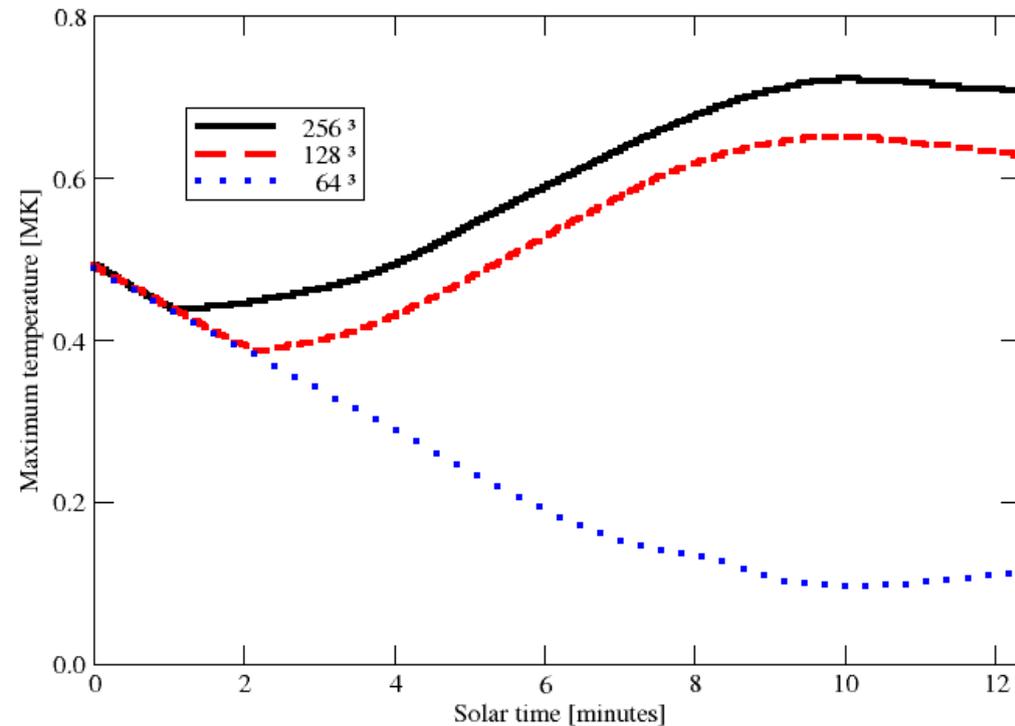
3D MHD-simulation: Auflösungseffekte

Räumliche Auflösung:

- Feste Boxgröße von $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$
- Variable Gitterabstände:
~800 km (64^3), ~400 km (128^3), ~200 km (256^3)

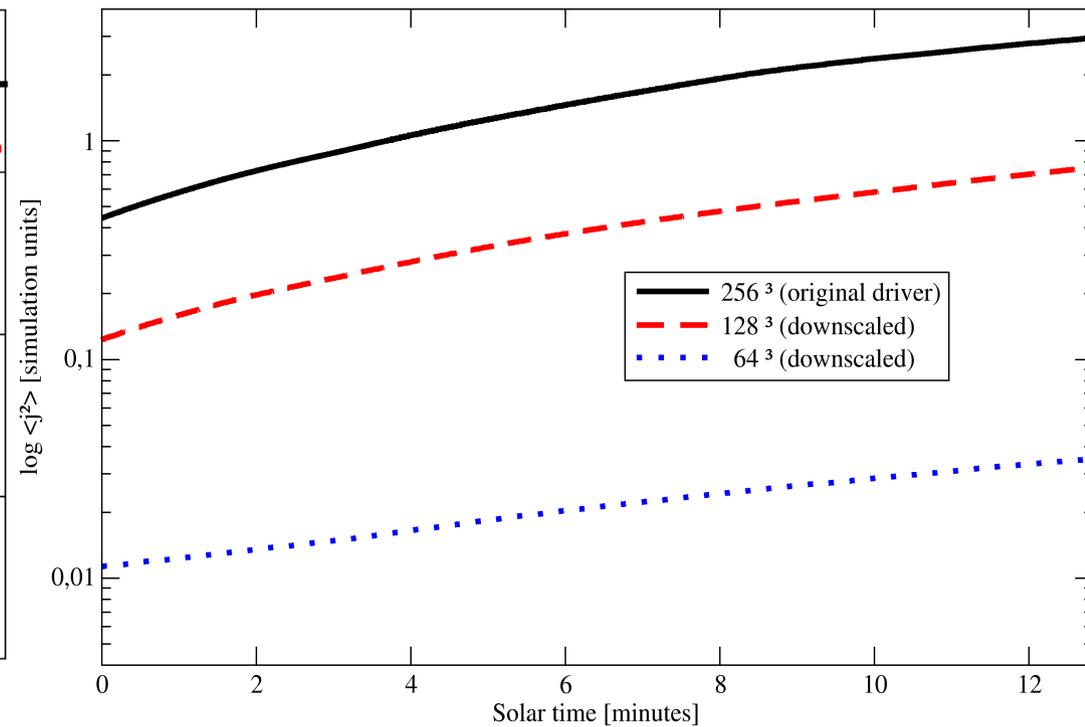
Scaling effects

Simulation of three grid resolutions for a fixed box size of $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$



Scaling effects in $\langle j^2 \rangle$

Simulation of three grid resolutions for a fixed box size of $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$

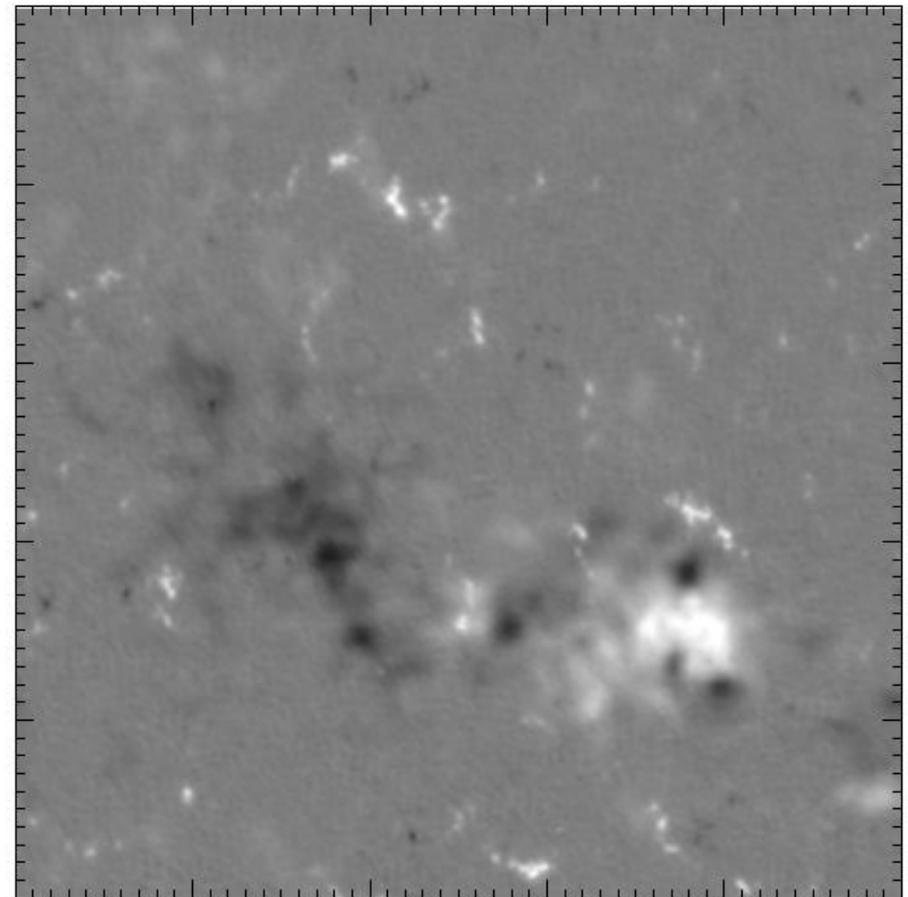
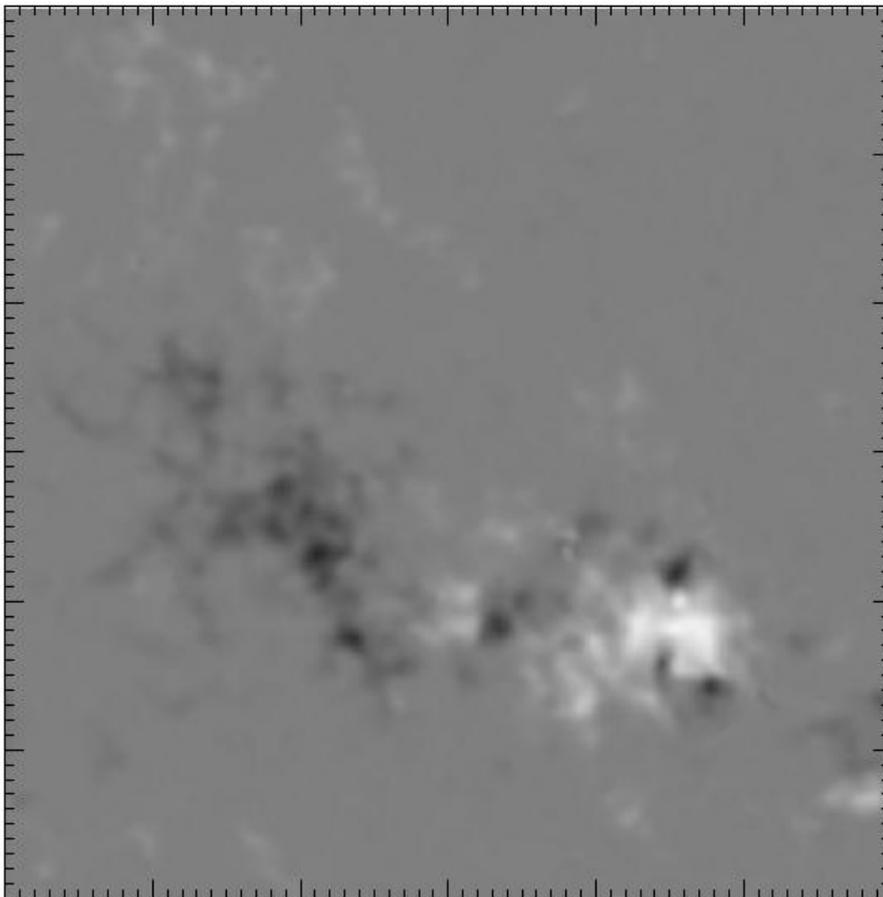


=> Zur Auflösung der photosphärischen Bewegungen sind ~200 km notwendig

Ausblick auf Simulationen

Bisher:

- 3D MHD-Modelle in einer Box von $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$ / Gitter: 128^3 :
 - * um Faktor 5 verkleinerte aktive Region (eigentlich „zwei Poren“)
 - * Pore mit magnetischem Netzwerk

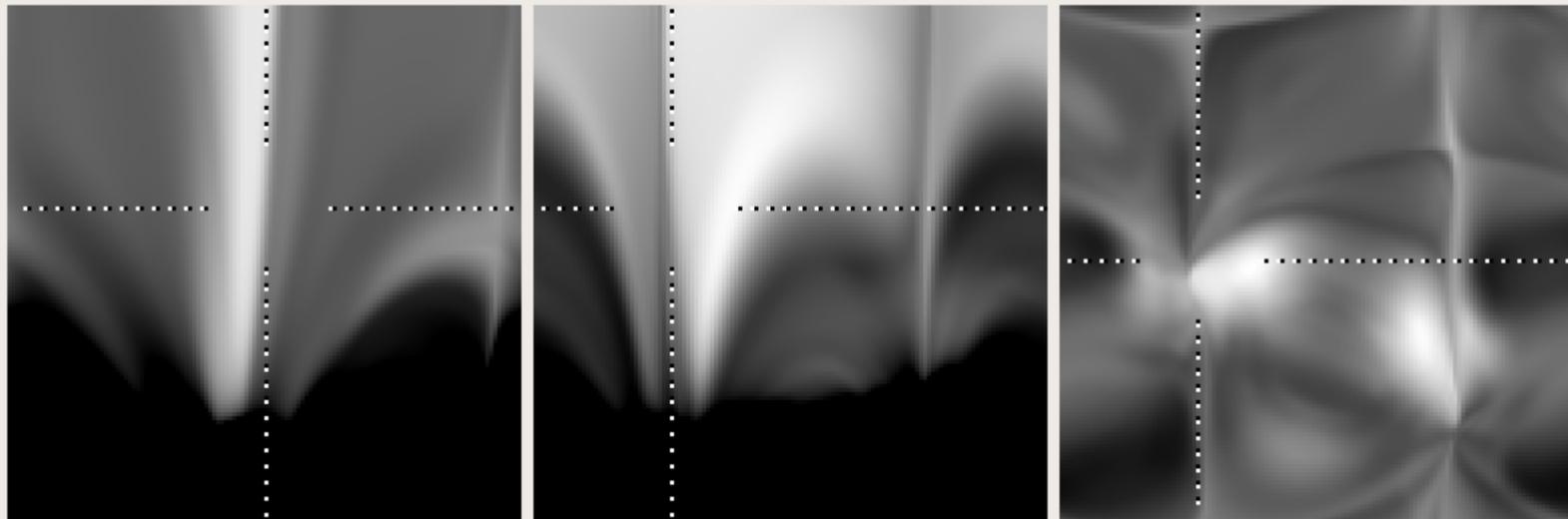


Bisher:

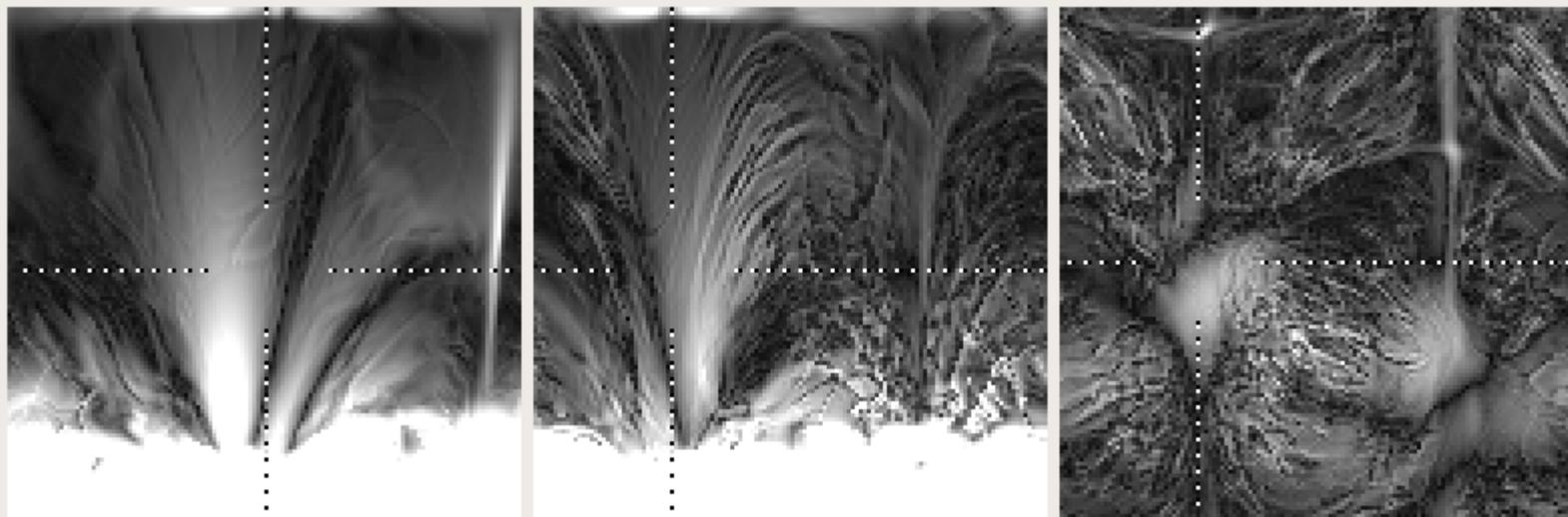
- 3D MHD-Modelle in einer Box von $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$ / Gitter: 128^3 :

* Vergleich zwischen Temperatur und Stromdichte:

T:



j:

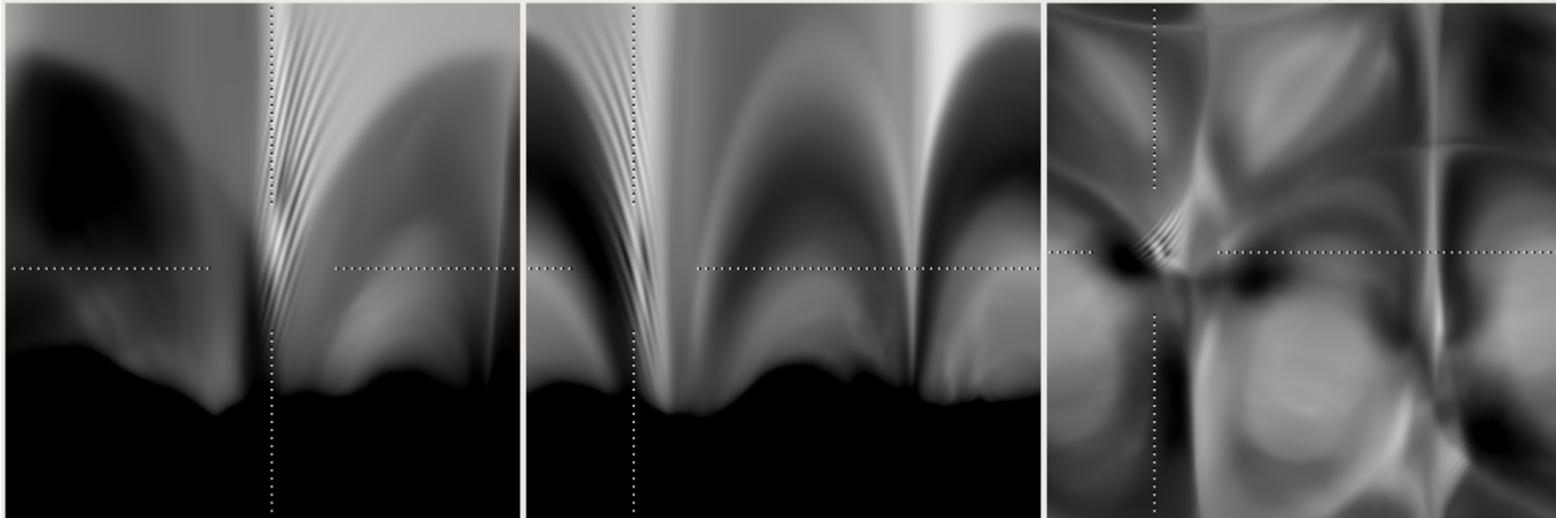


Aktuell:

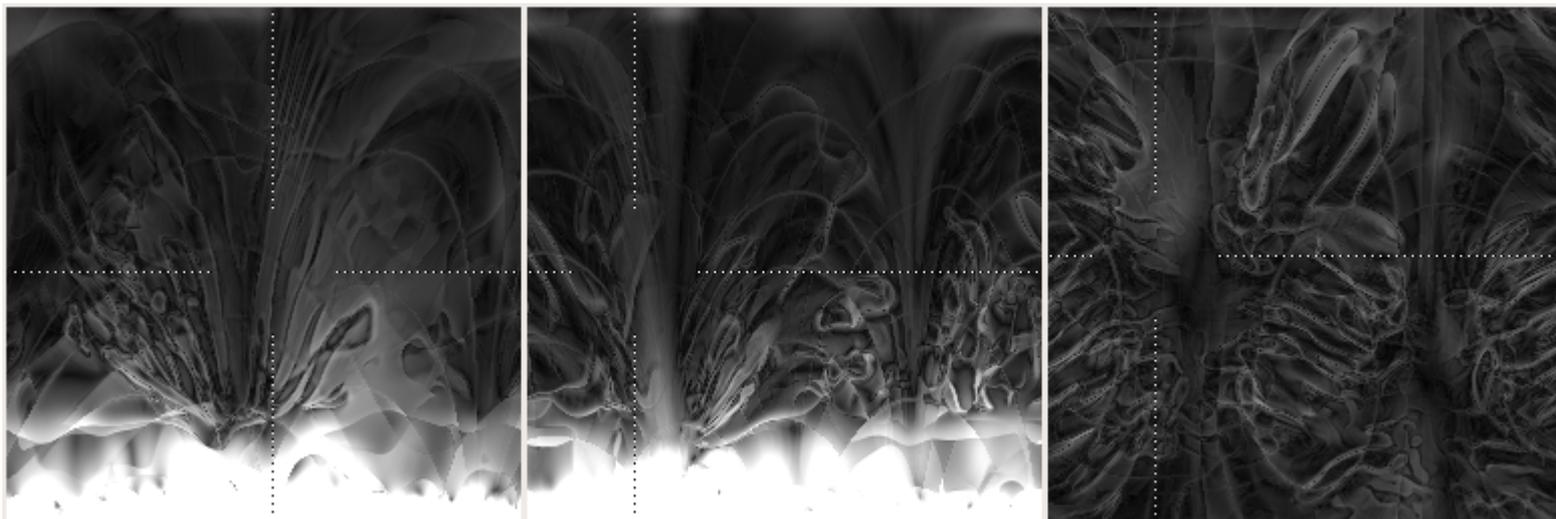
- 3D MHD-Modelle in einer Box von $50 \times 50 \times 30 \text{ Mm}^3$ / Gitter: 256^3 :

* bessere Auflösung mit $\sim 200 \text{ km}$ Gitterabstand

T:

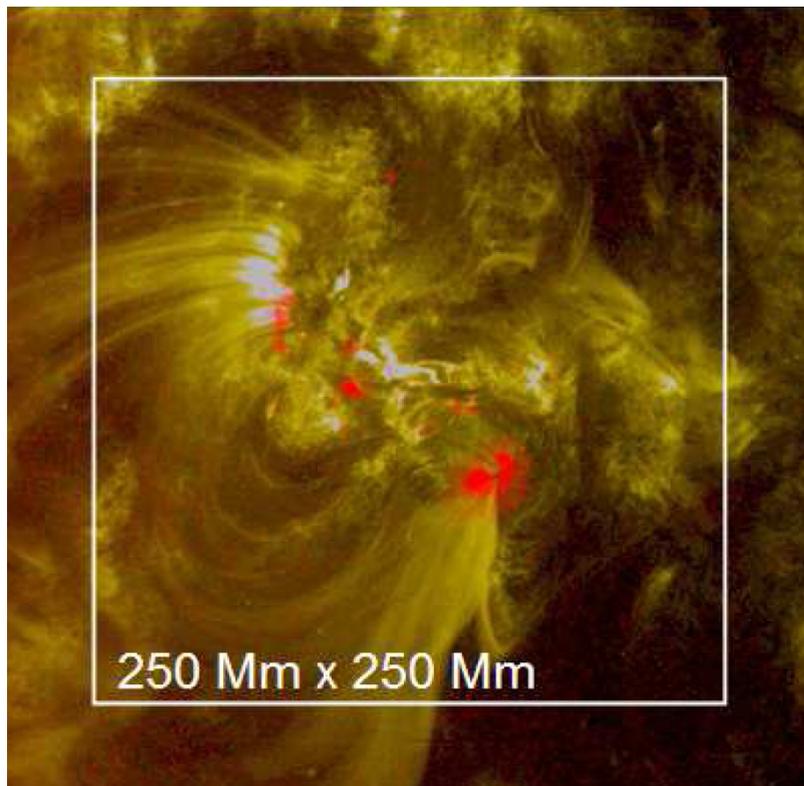


j:



Ziel:

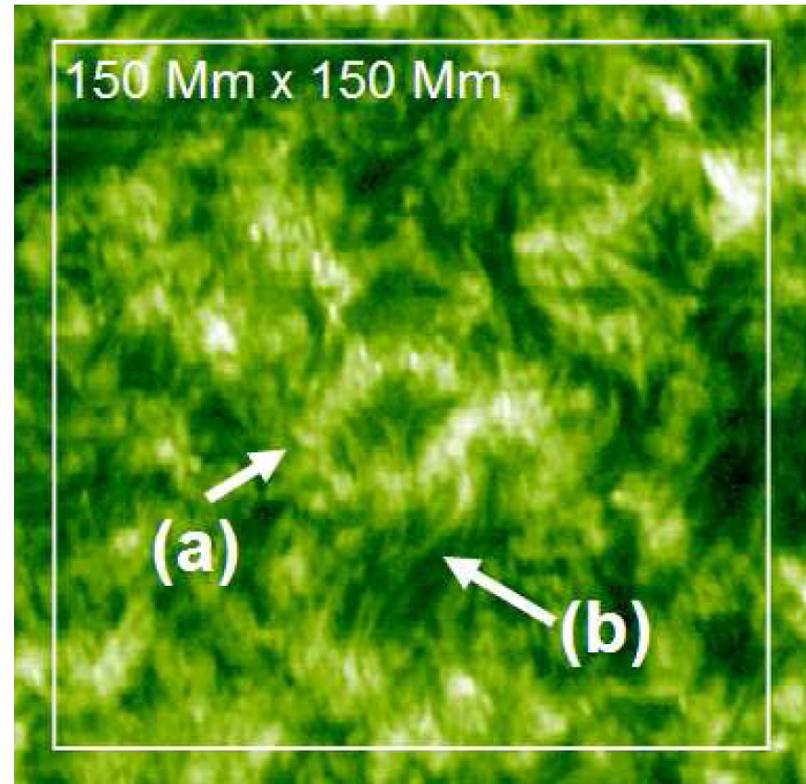
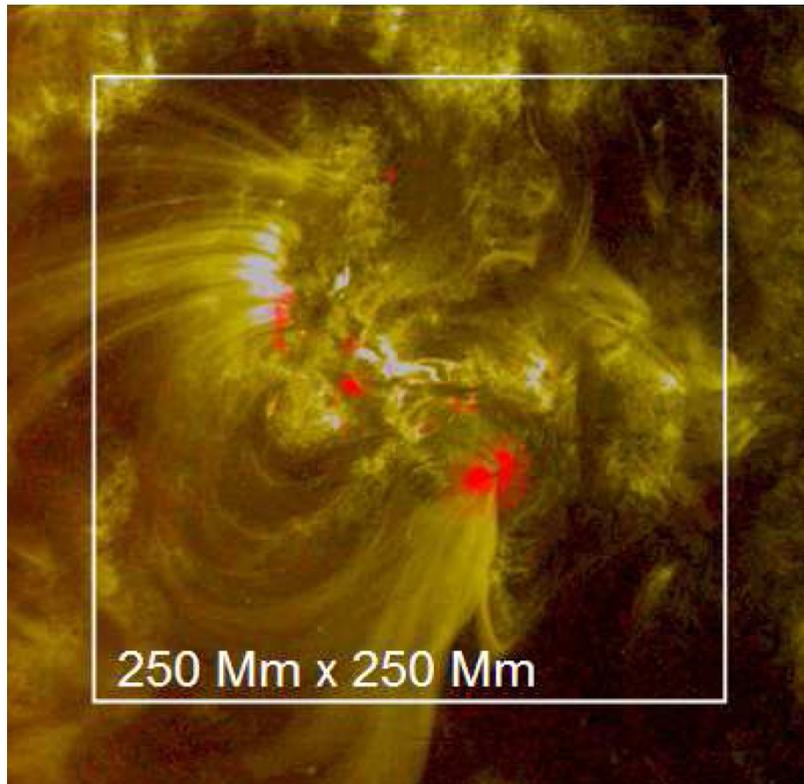
- Box von $250 \times 250 \times 100 \text{ Mm}^3$ / Gitter: 512^3 (besser 1024^3):
 - * Aktive Region bei „echter“ Skalierung
 - * Wechselwirkung mit Netzwerk
 - * größere koronale Bögen (wie mit TRACE beobachtbar)
 - * mehr magnetischer Fluss: höhere Temperaturen (XRT/Hinode)



Ausblick auf Simulationen

Ziel:

- Box von $250 \times 250 \times 100 \text{ Mm}^3$ / Gitter: 512^3 (besser 1024^3):
 - * Aktive Region bei „echter“ Skalierung
 - * Wechselwirkung mit Netzwerk
 - * größere koronale Bögen (wie mit TRACE beobachtbar)
 - * mehr magnetischer Fluss: höhere Temperaturen (XRT/Hinode)



Fragen...?