



# **Materialwissenschaftliche und industrielle Anwendungen von Neutronenstrahlen**

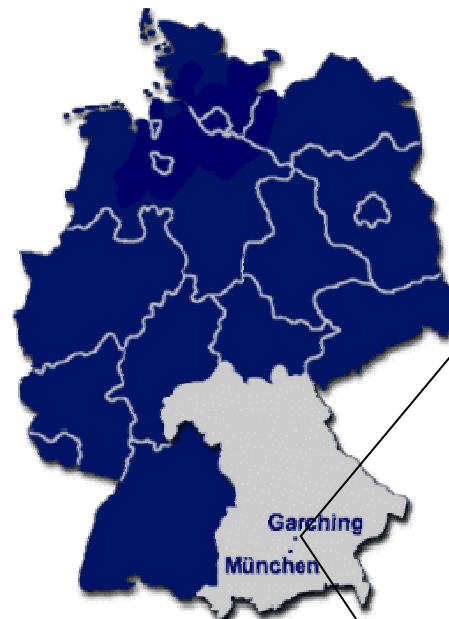
Dr. Jürgen Neuhaus

Technische Universität München  
**Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)**

[http://www.frm2.tum.de](http://www frm2 tum de)



## Der FRM II im Zentrum des Campus Garching der Technische Universität München



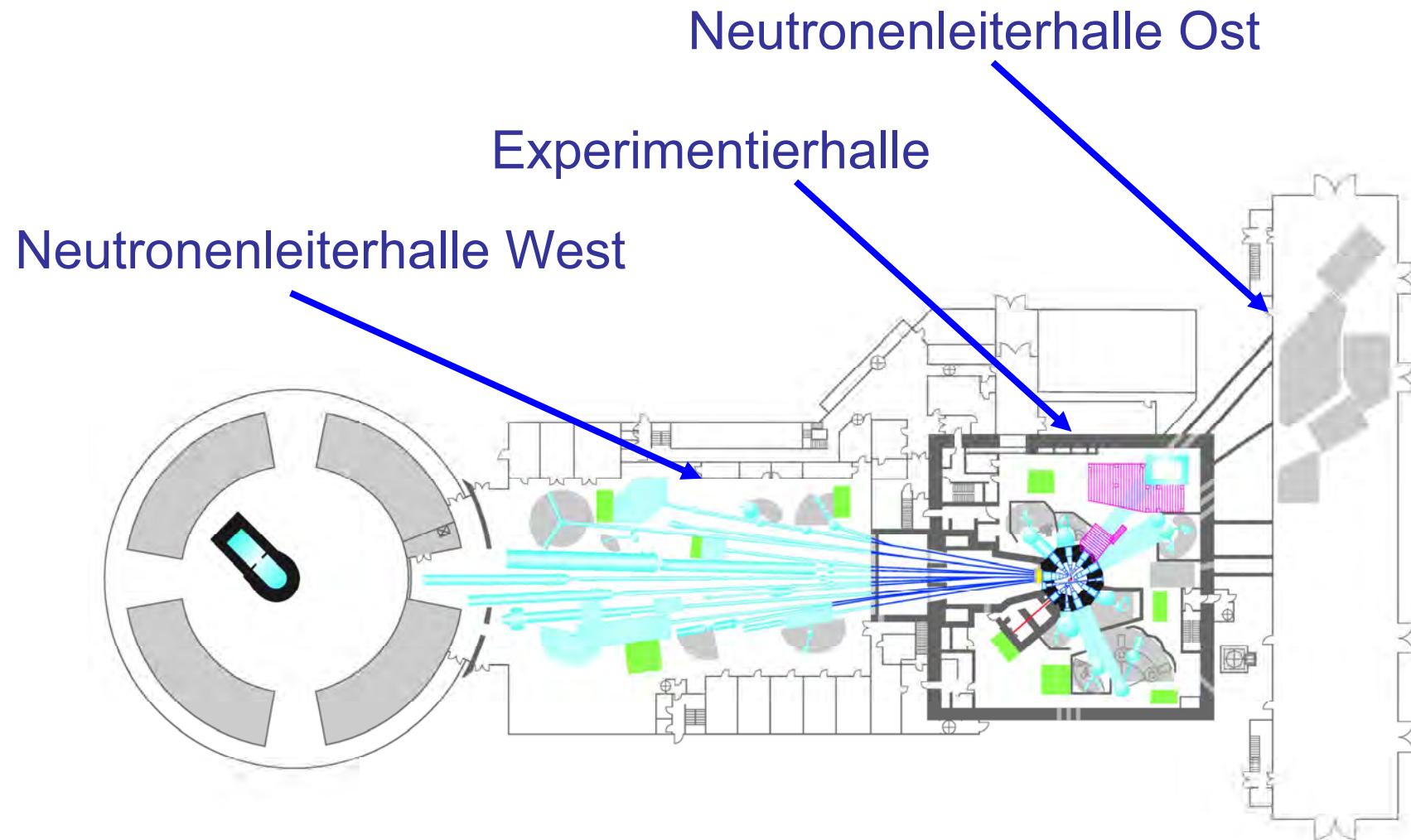


## Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz





## Gebäude des FRM II



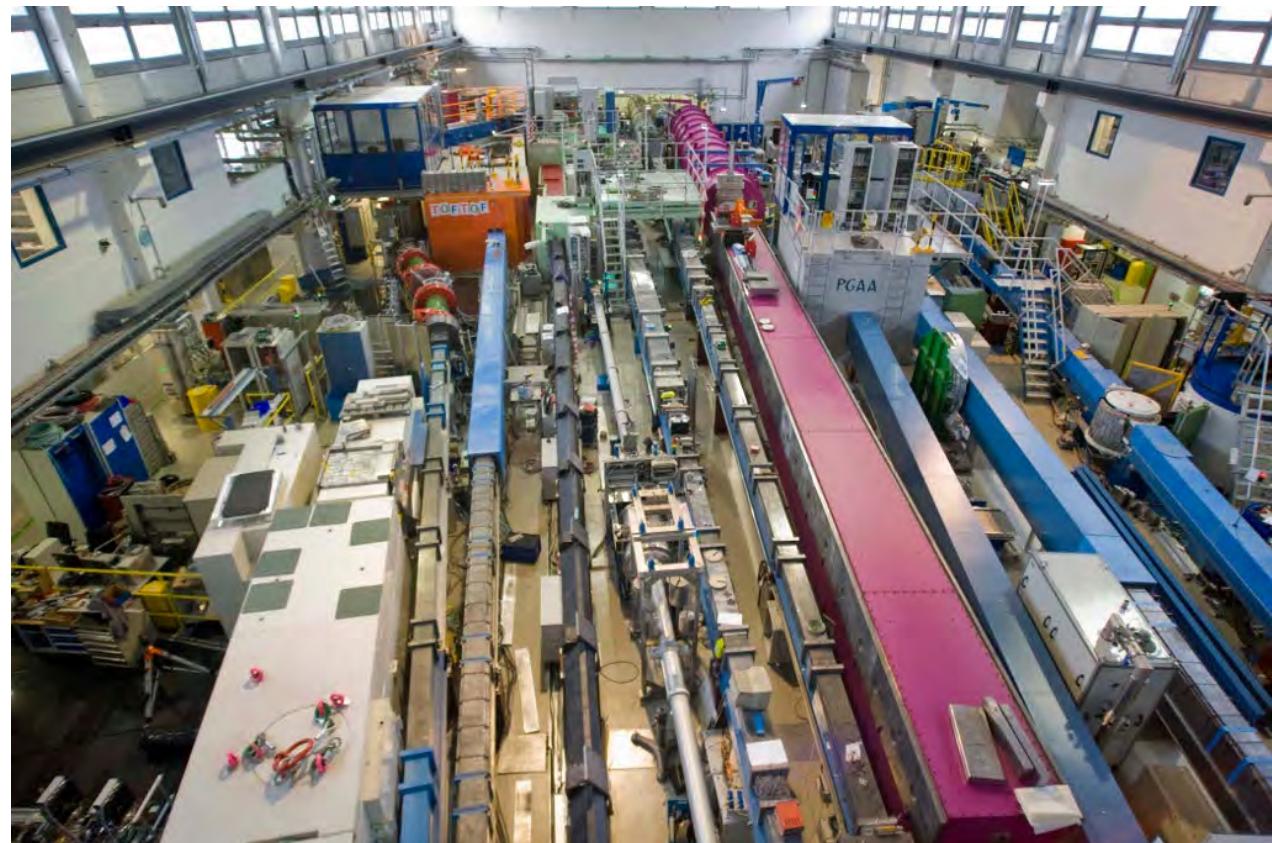


# Experimental hall





# Neutron guide hall





# Instrumentierung des FRM II für Materialforschung und Industrie ([www frm2 tum de/industrie](http://www frm2 tum de/industrie))



Bestrahlungseinrichtungen		Operator	Status
pneumatische Rohrpost	$t_{\text{trans}} \sim 5-10 \text{ s}$	TUM FRM II	verfügbar
Hydraulische Rohrpost	$t_{\text{trans}} > 10 \text{ s}$	TUM FRM II	verfügbar
großvolumige Bestrahlung		TUM FRM II	verfügbar
Bestrahlungsposition im Kontrollstab	$\Phi_{\text{schnell}}$	TUM FRM II	verfügbar
Siliziumdotierung	$\emptyset 20 \text{ cm}, \text{Länge } 50 \text{ cm}$	TUM FRM II	verfügbar
Radio- und Tomographie			
mit kalten Neutronen ANTARES		TUM Physik	
mit schnellen Neutronen NECTAR	MeV Neutronen	TUM Radiochemie	
Diffractometer			
Materialdiffraktometer StressSpec		TUM Physik/GKSS	
Pulverdiffraktometer SPODI		TU Darmstadt/LMU München	
thermisch Einkristaldiffraktometer RESI		Uni Augsburg/LMU München	
Heiß Einkristaldiffraktometer HEIDI		RWTH Aachen	
Multi-purpose kalte Neutronen MIRA		TUM Physik	
Reflektometer für biologische Proben RefSANS		GKSS/LMU Munich	
Reflektometer N-REX+		MPI Stuttgart	
Kleinwinkelstreuung KWS 2		JCNS	im Ausbau
Kleinwinkelstreuung fokussierend KWS 3		JCNS	
Kleinwinkelstreuung KWS 1		JCNS	
Kleinwinkelstreuung SANS-1		TUM Physik/GKSS	im Aufbau



# Instrumentierung FRM II ([www frm2 tum de](http://www frm2 tum de))



## Spectrometer

conventional spin echo NSE  
resonance spin echo RESEDA  
backscattering SPHERES  
time-of-flight ToF-ToF  
diffuse & inelastic DNS  
cold three axis PANDA  
thermal three axis PUMA  
polarised three axis TRISP

## Operator

JCNS  
TUM physics  
JCNS  
TUM physics  
JCNS  
TU Dresden  
Uni Göttingen  
MPI Stuttgart

## Status

routine operation  
routine operation

## Fundamental physics

cold beam for nuclear physics MEPHISTO  
prompt gamma analysis PGAA

TUM physics  
Uni Cologne/TUM chemistry

routine operation  
routine operation

## Positronenquelle

NEPOMUC

Uni Bundeswehr/TUM physics routine operation

## Klinische Tumurtherapie

MEDAPP

MeV neutrons

TUM FRM II

routine operation

## Projects

ultra cold neutrons UCN  
bio diffractometer  
high intensity reflectometer MARIA,  
thermal time-of-flight TOPAS  
Intense powder diffractometer POWTEX  
cold polarized three axis spectrometer KOMPASS

TUM physics  
TUM FRM II/JCNS  
JCNS  
JCNS  
RWTH Aachen/Göttingen  
Uni Cologne/TUM Physics

Projekt  
im Aufbau  
im Aufbau  
Projekt  
Projekt  
im Aufbau



# Einkristalline Ni-basis Superlegierungen



Detaillierte Beispiele zur Untersuchung von Superlegierungen auf Ni-basis sind veröffentlicht in:

Ralph Gilles, Neutron scattering, a powerful tool in material science exemplary on superalloys, International Journal of Materials Research (2005), Vol. 96, 4, 325-334.

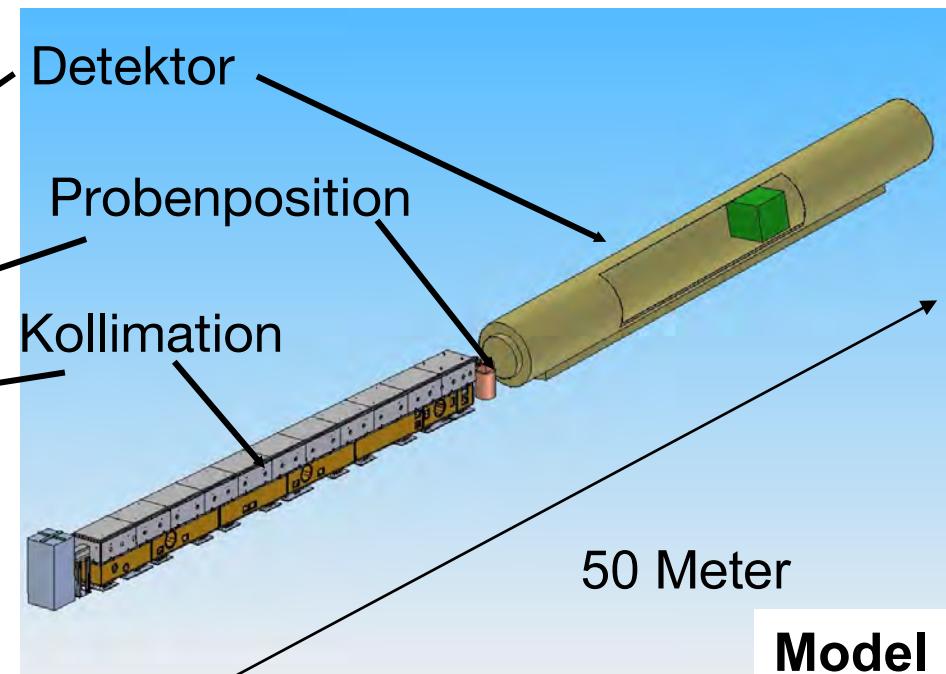




# Kleinwinkel-Neutronenstreuung



## SANS-1 @ FRM II



*in Betrieb ab 2011*

Ralph Gilles

Forschungsneutronenquelle  
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)

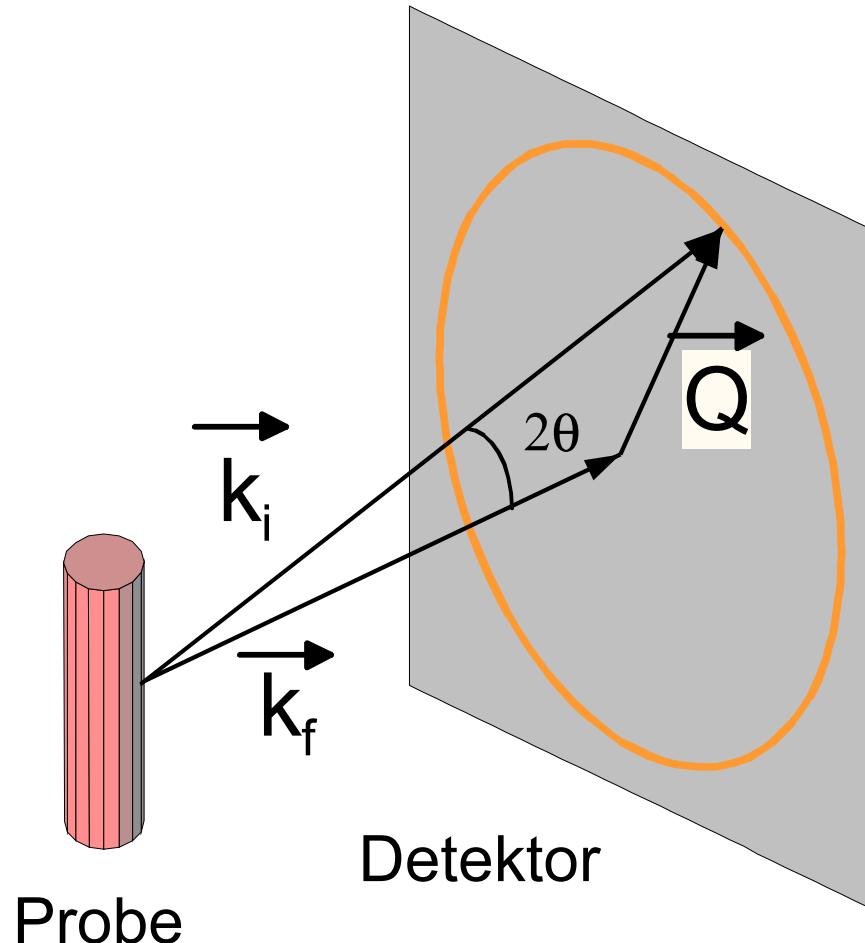


# Small angle neutron scattering (SANS): Elastische Neutronenstreuung

- > Inhomogenitäten im Bereich:  
 $1 \text{ nm} - 300 \text{ nm}$
- > Probengröße:  $\sim 1 \text{ cm}^3$

$$\vec{k}_i - \vec{k}_f = \vec{Q} \quad , \quad |\vec{k}_f| = |\vec{k}_i|$$

$$|\vec{Q}| = 2|\vec{k}| \sin(\theta) = 4\pi/\lambda \sin(\theta)$$

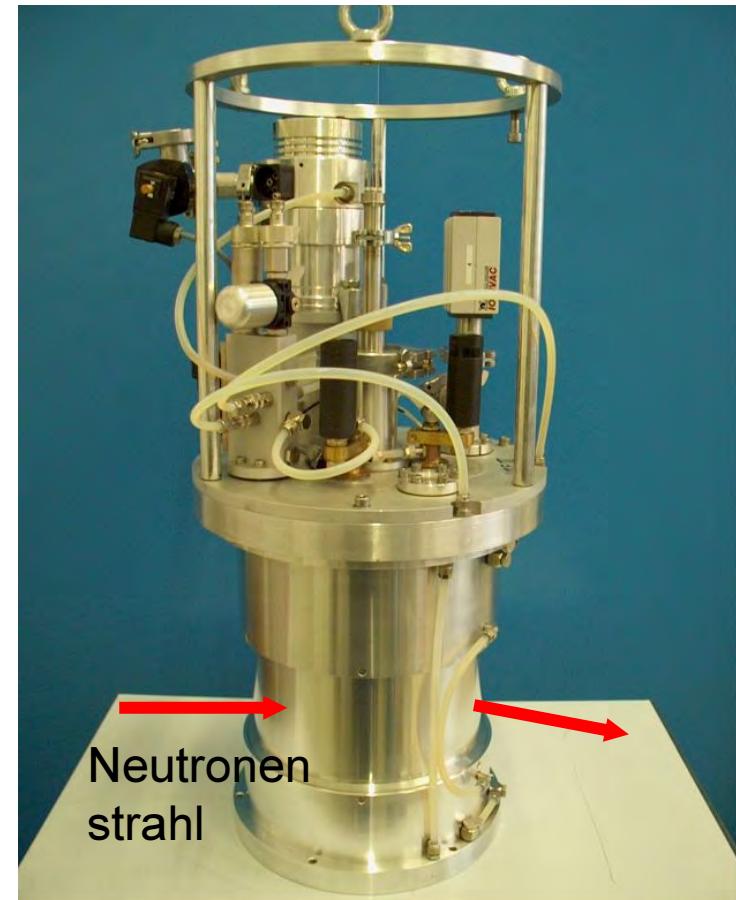
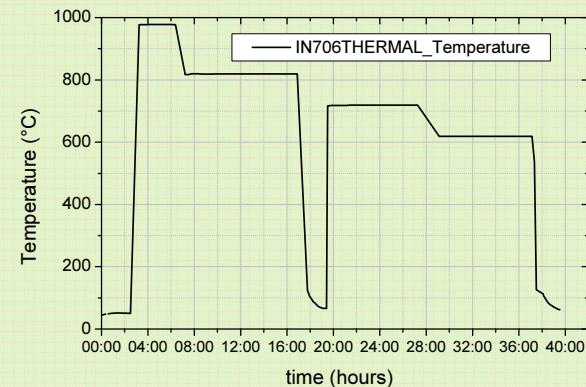




# In-situ SANS bei hohen Temperaturen



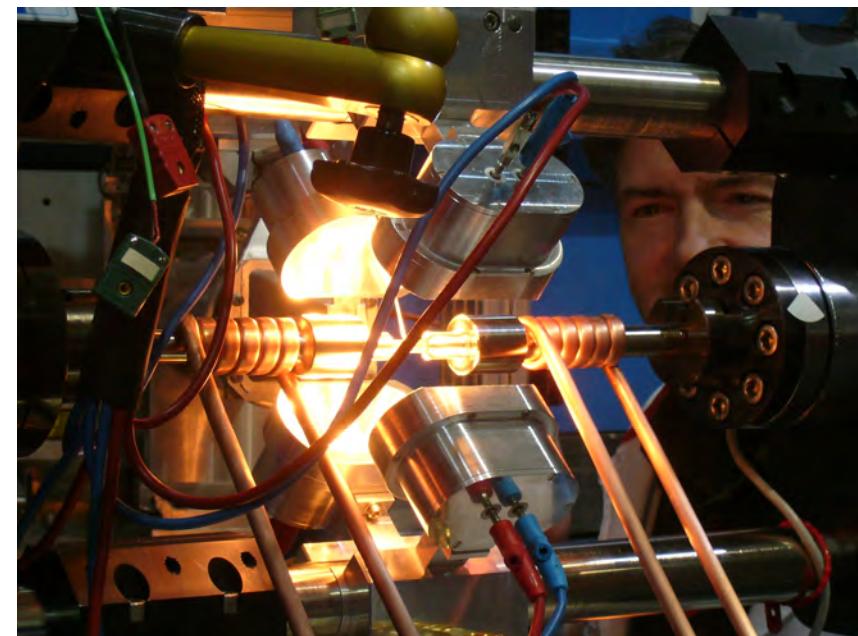
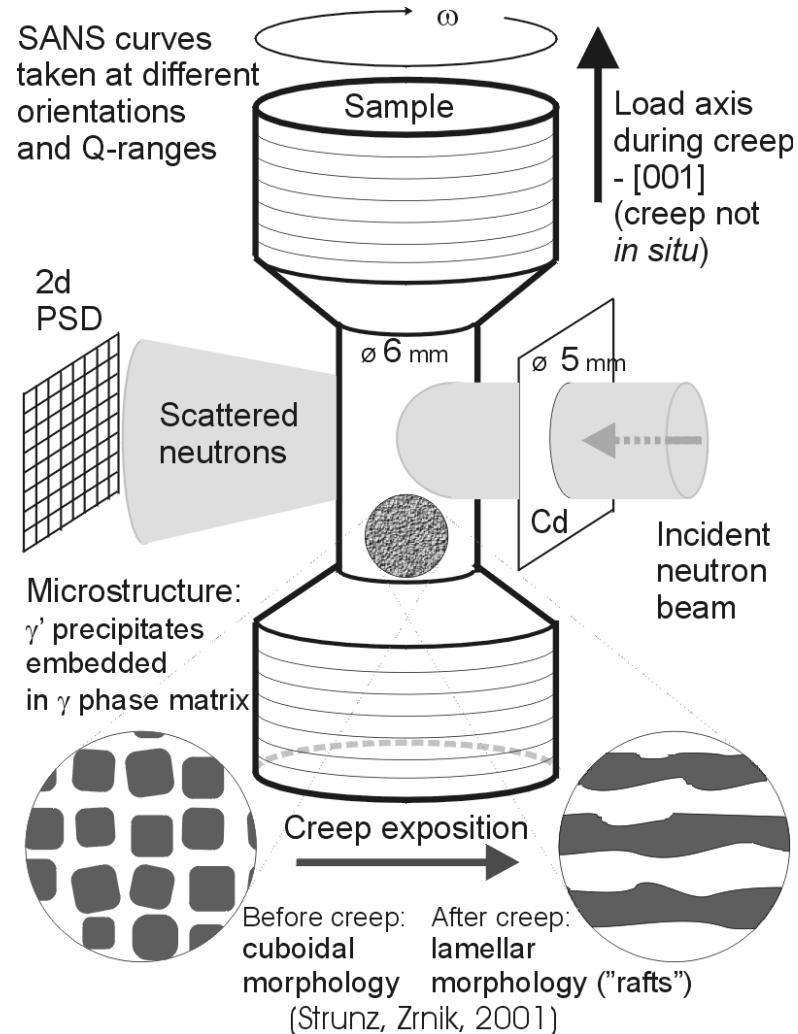
- Superlegierungen verwendet bei hohen Temperaturen



HT-Vakuumofen (FRM II)



# Set-up für Kriechexperimente



Ralph Gilles

Forschungsneutronenquelle  
Heinz Maier-Leibnitz (FRM II)





**Neutronen im Herzen des Campus Garching**