

6. Werkstoffkongress, Leoben, 6./7. November 2008

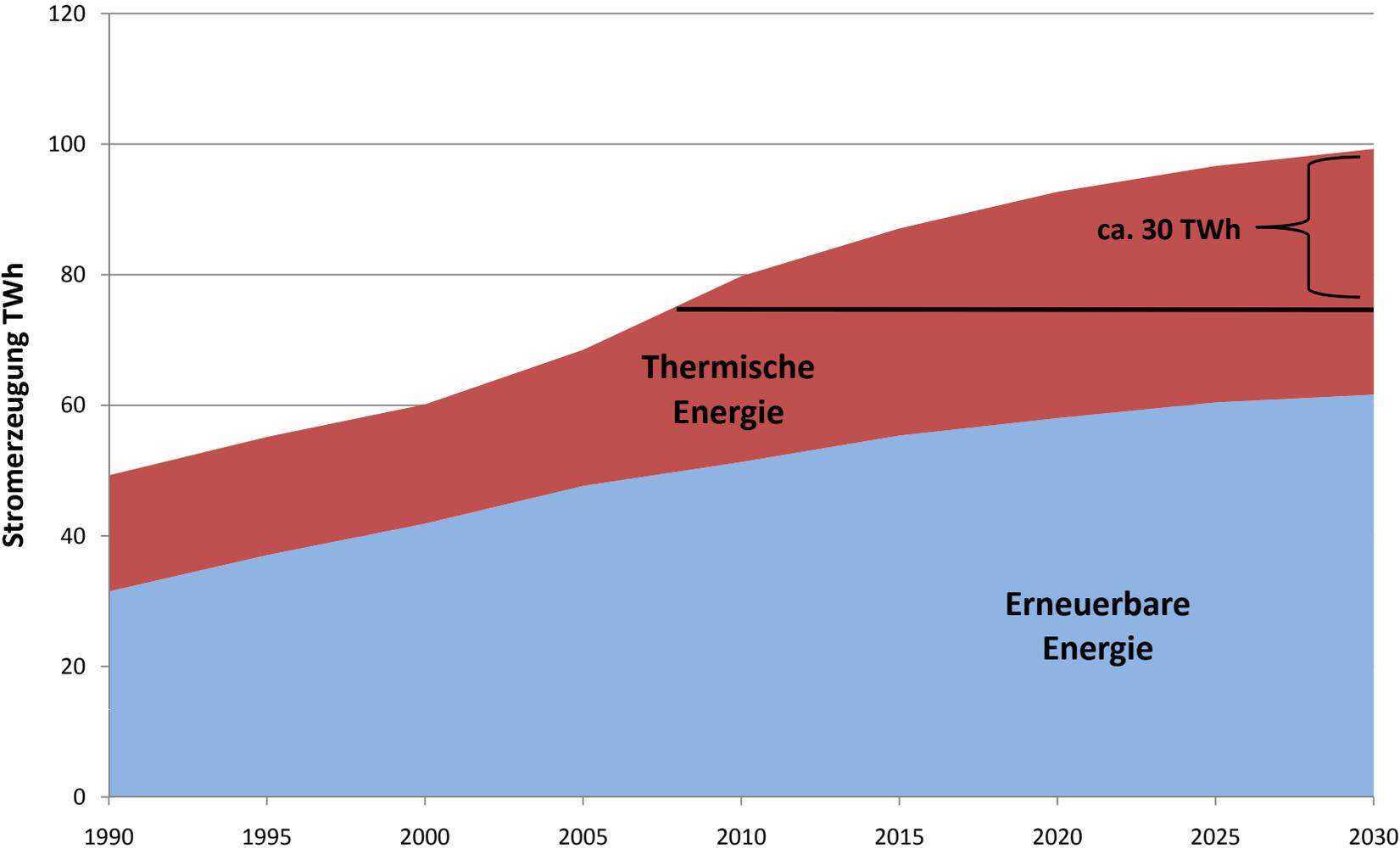
# Werkstoffentwicklung zur Effizienzsteigerung in der Energieerzeugung als aktiver Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduktion

Peter Mayr, Ivan Holzer, Bernhard Sonderegger und Horst Cerjak

Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik  
Technische Universität Graz

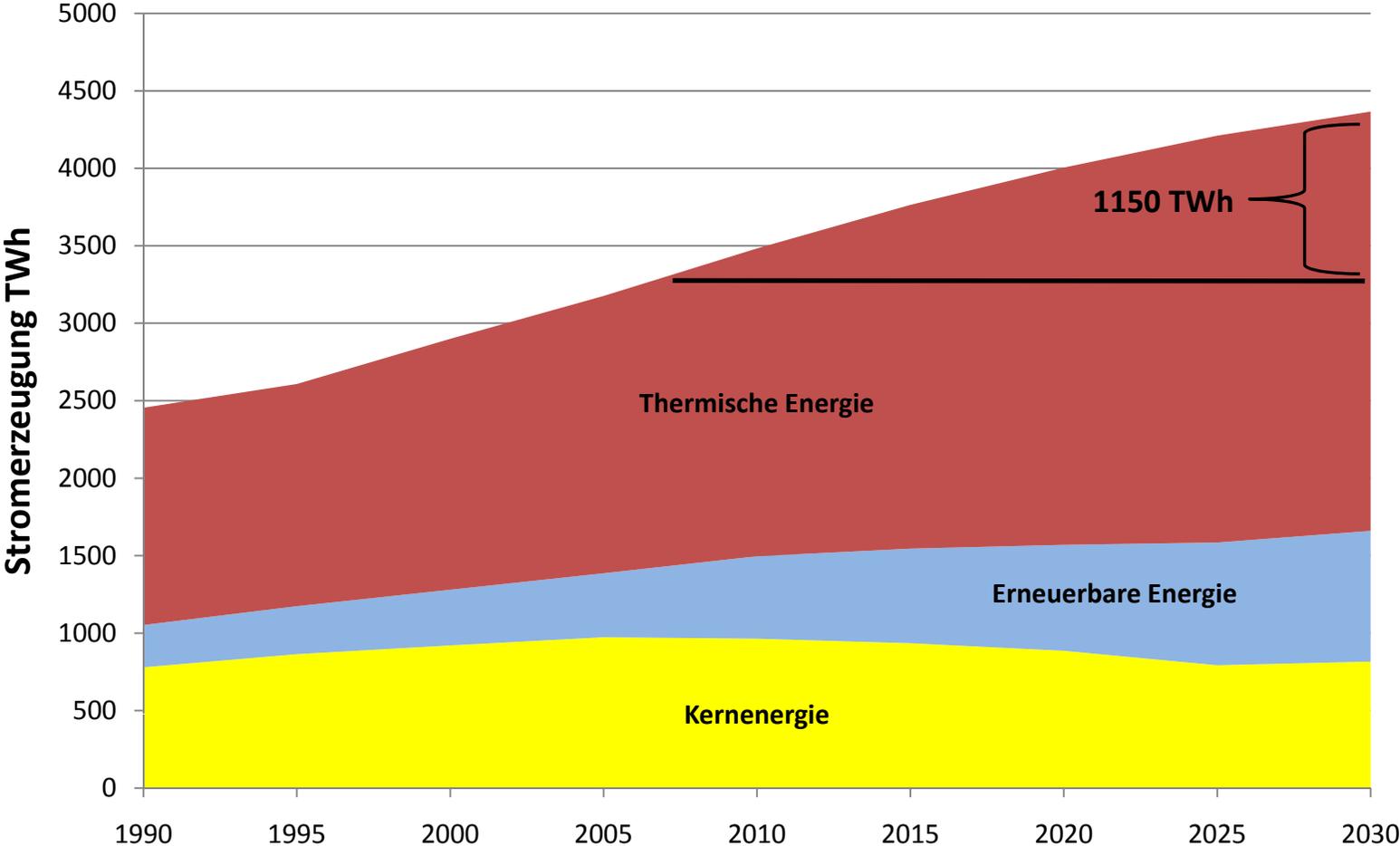
- Fakten zur Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken
- Die Arbeitsgemeinschaft ARGE COST 536 ACCEPT
- Martensitische 9-12% Cr-Stähle im Kraftwerksbau
- Präsentation modernster Untersuchungsmethoden
- Zusammenfassung

Stromerzeugung in Österreich



Quelle: European Energy and Transport Report, 2006

Stromerzeugung in EU25



Quelle: European Energy and Transport Report, 2006

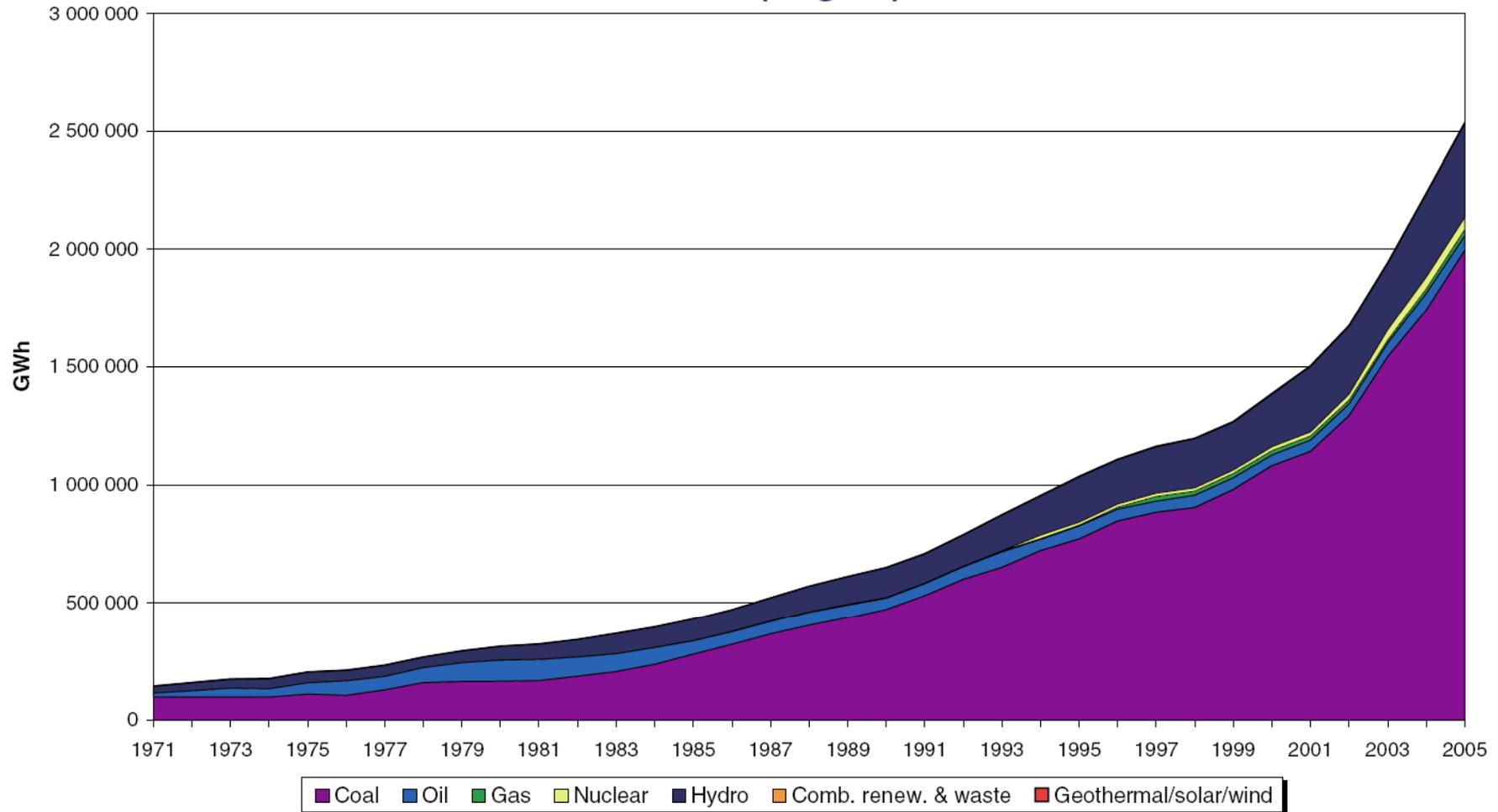
### Zusätzlich werden in Europa in den nächsten 20 Jahren 2.400 TWh benötigt:

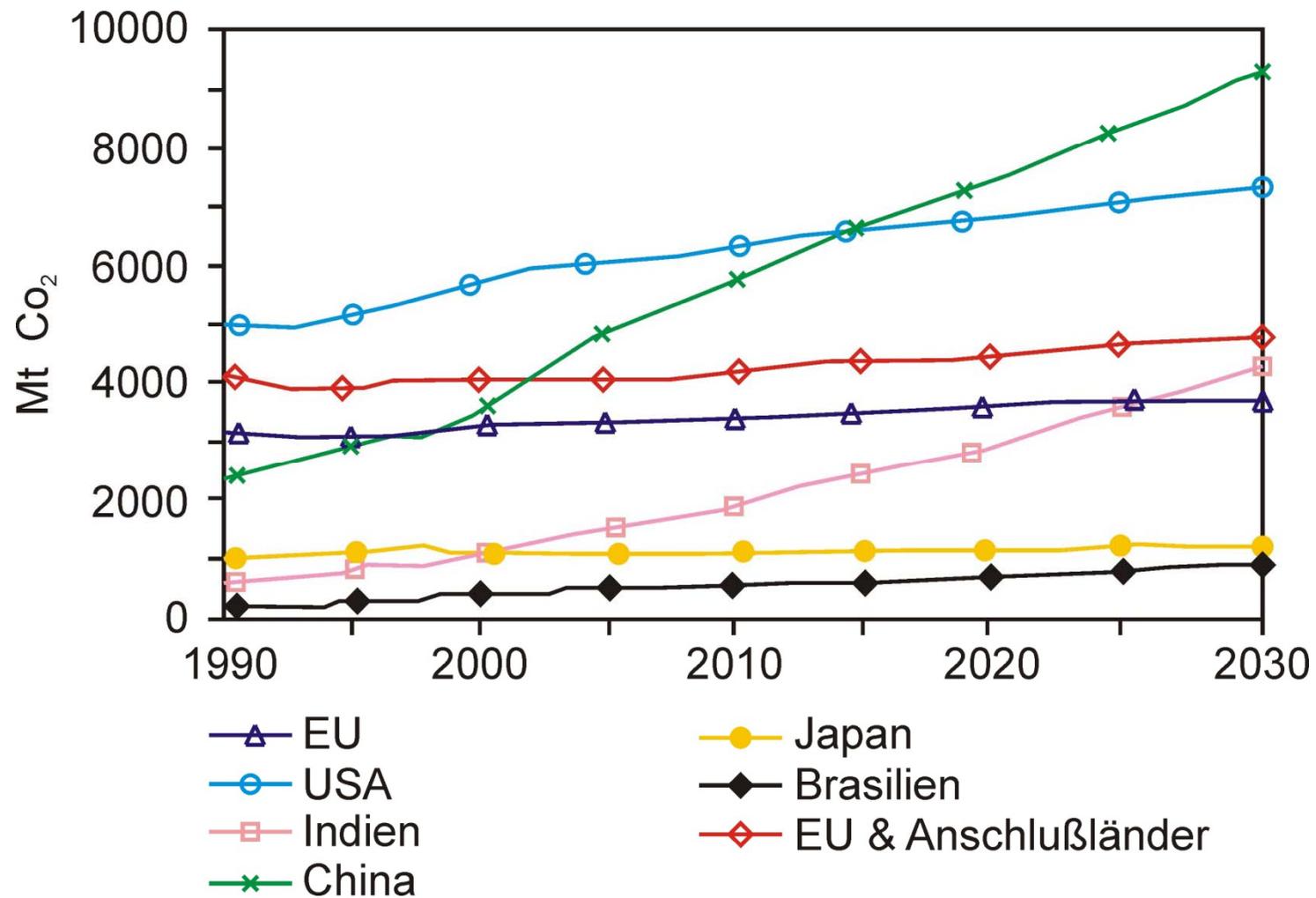
- 200 Kernkraftwerke á 1.600 MW
- 320 Braunkohlekraftwerke á 1.000 MW
- 530 Steinkohlekraftwerke á 630 MW
- 800 GuD Turbinenkraftwerke á 400 MW
- 160.000 Windräder á 5 MW  
(+ Sicherheit 425 Steinkohlekraftwerke oder  
640 GuD Turbinenkraftwerke)

Quelle: VGB Powertech

## Evolution of Electricity Generation by Fuel from 1971 to 2005

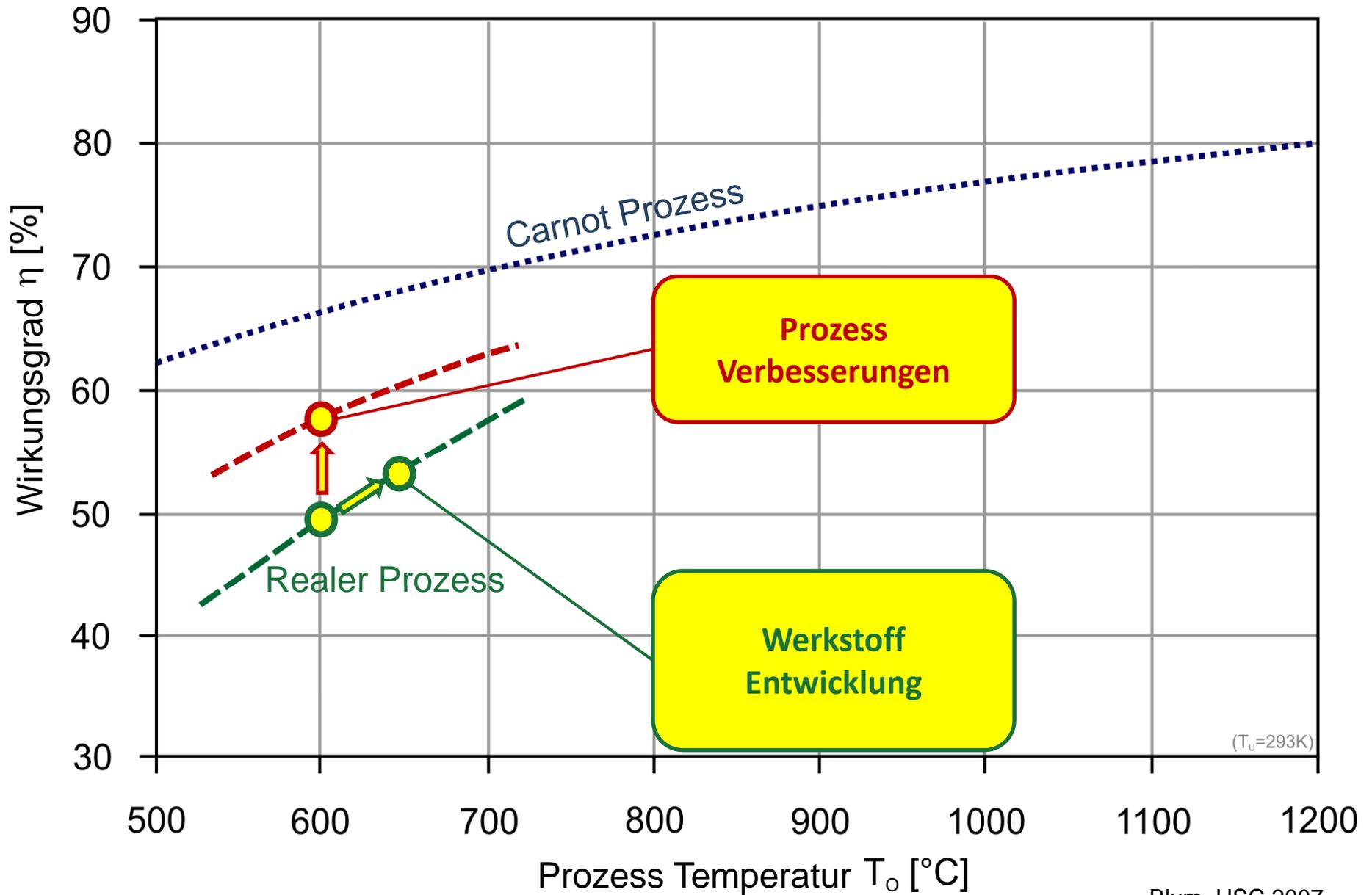
### China (Region)





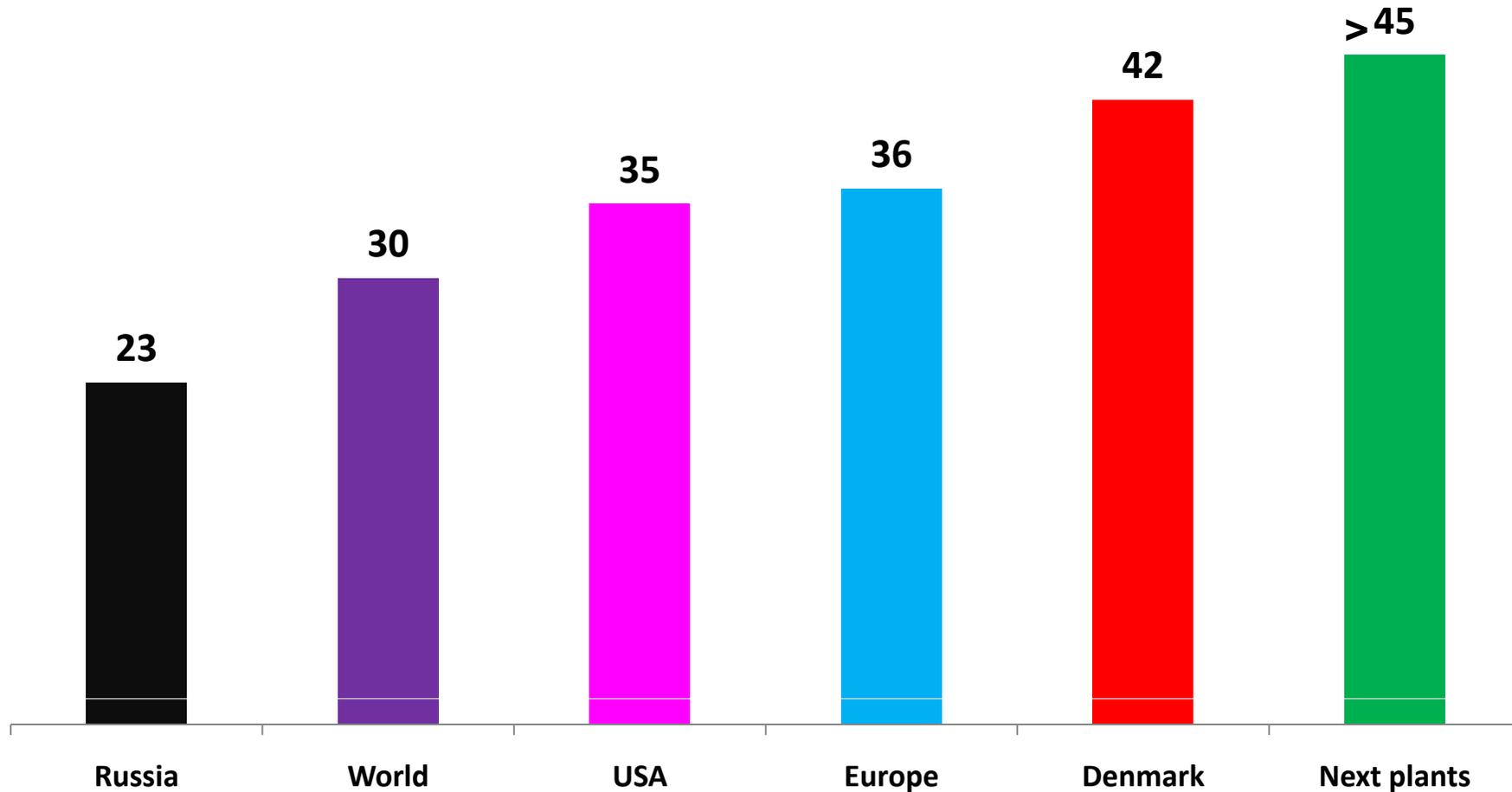
Quelle: European Commission, WETO, 2003

# Möglichkeiten der Wirkungsgradsteigerung in der Energieerzeugung

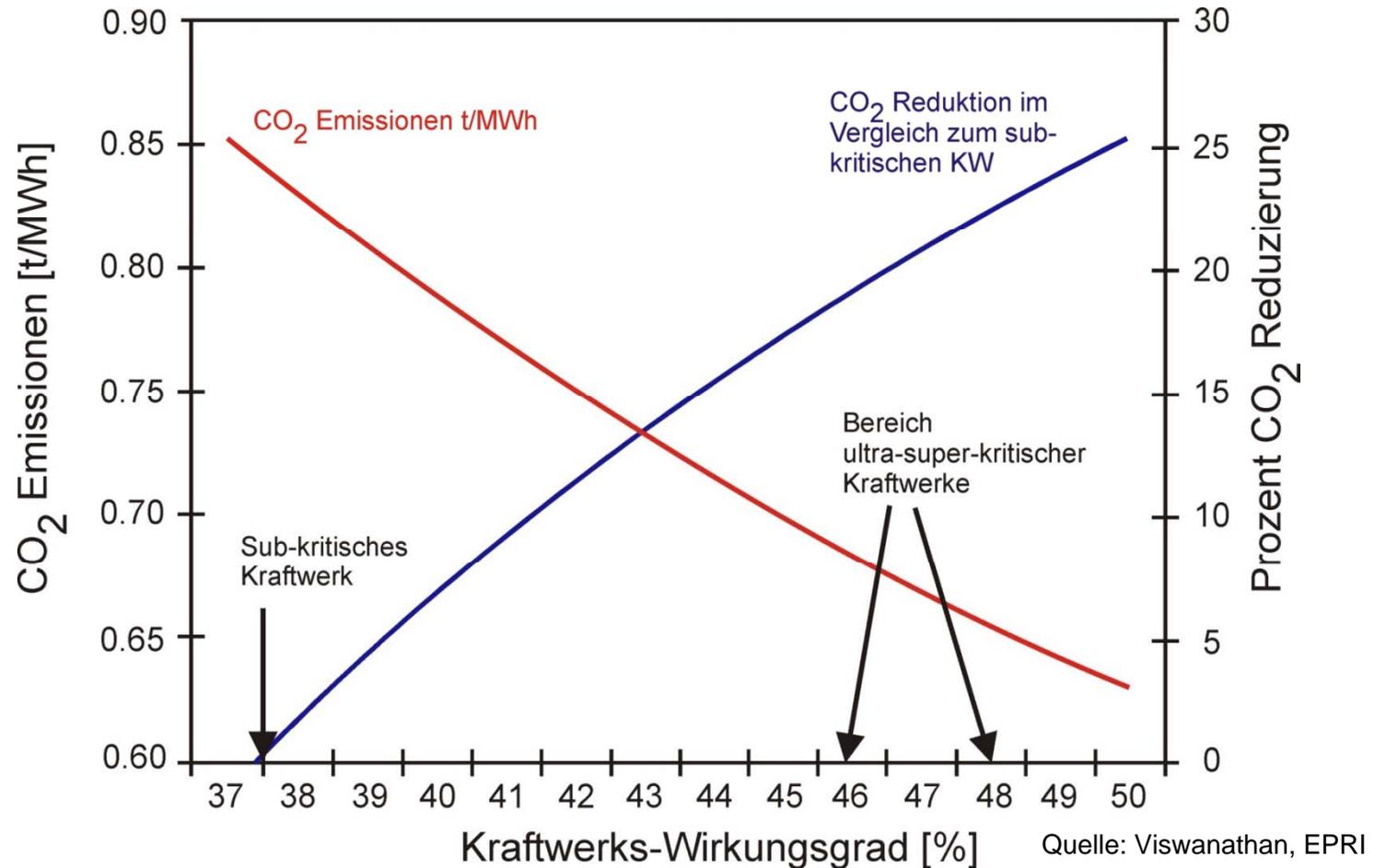


Blum, USC 2007

## Durchschnittliche Kraftwerks Wirkungsgrade

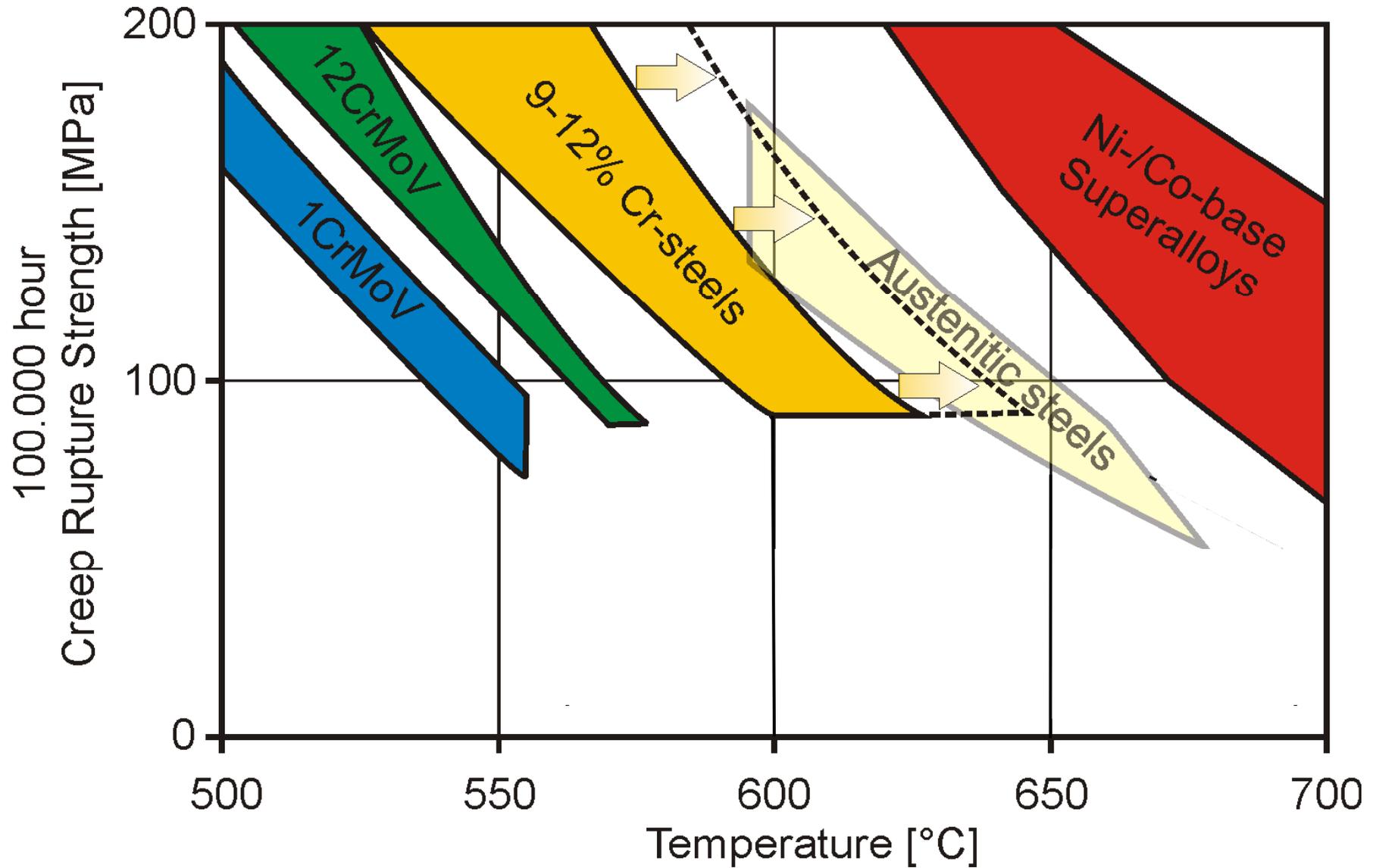


Quelle: Blum **DONG**  
energy



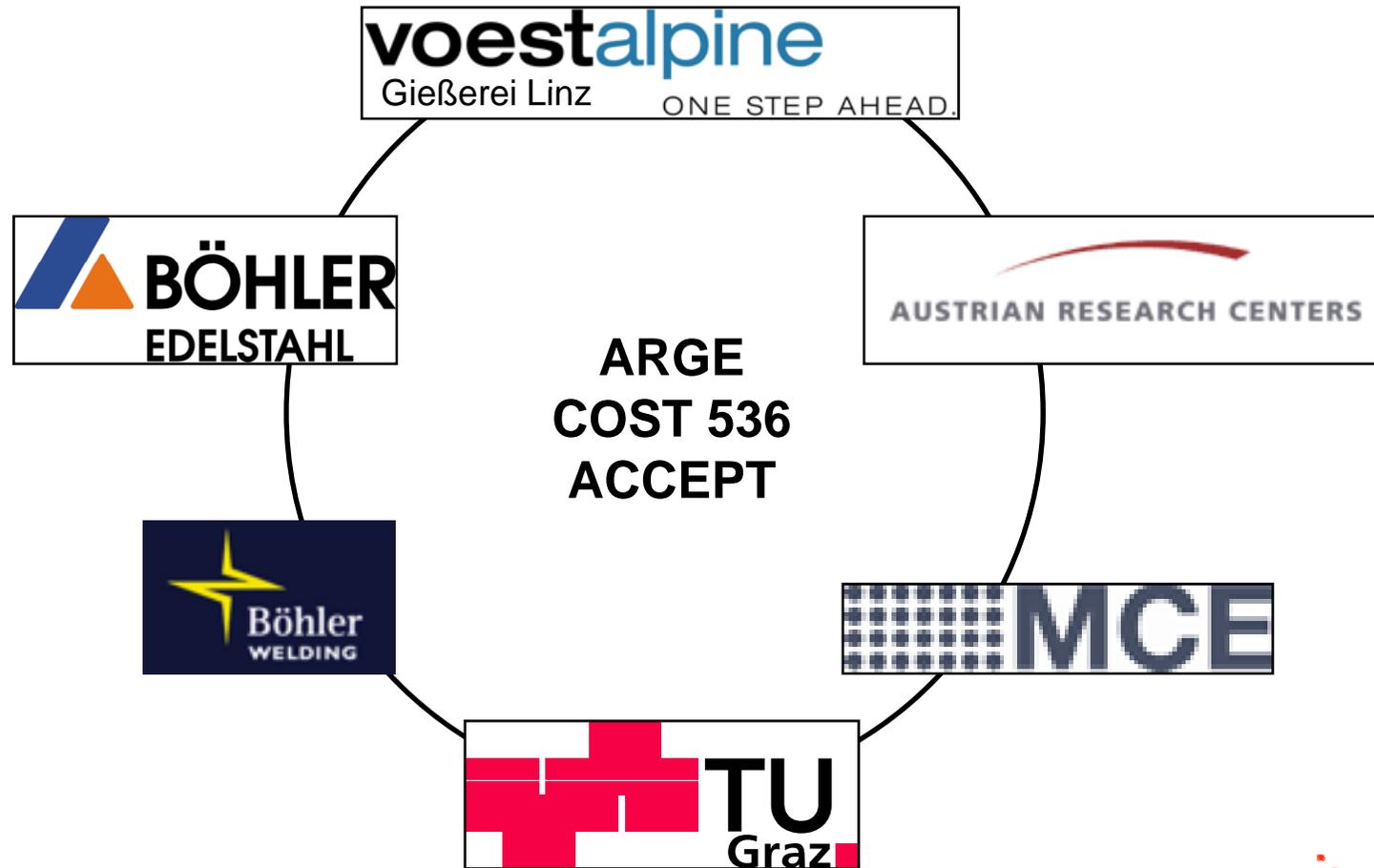
Einsparungspotential  
 Österreich: 3 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>  
 Welt: 2 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>

# Werkstoffe für den Hochtemperatureinsatz in thermischen Kraftwerken



Quelle: T.U. Kern, Siemens

Alloy Development for Critical Components of Environmentally Friendly Power Plants



5-Jahresprojekt (2004 -2009) finanziert durch

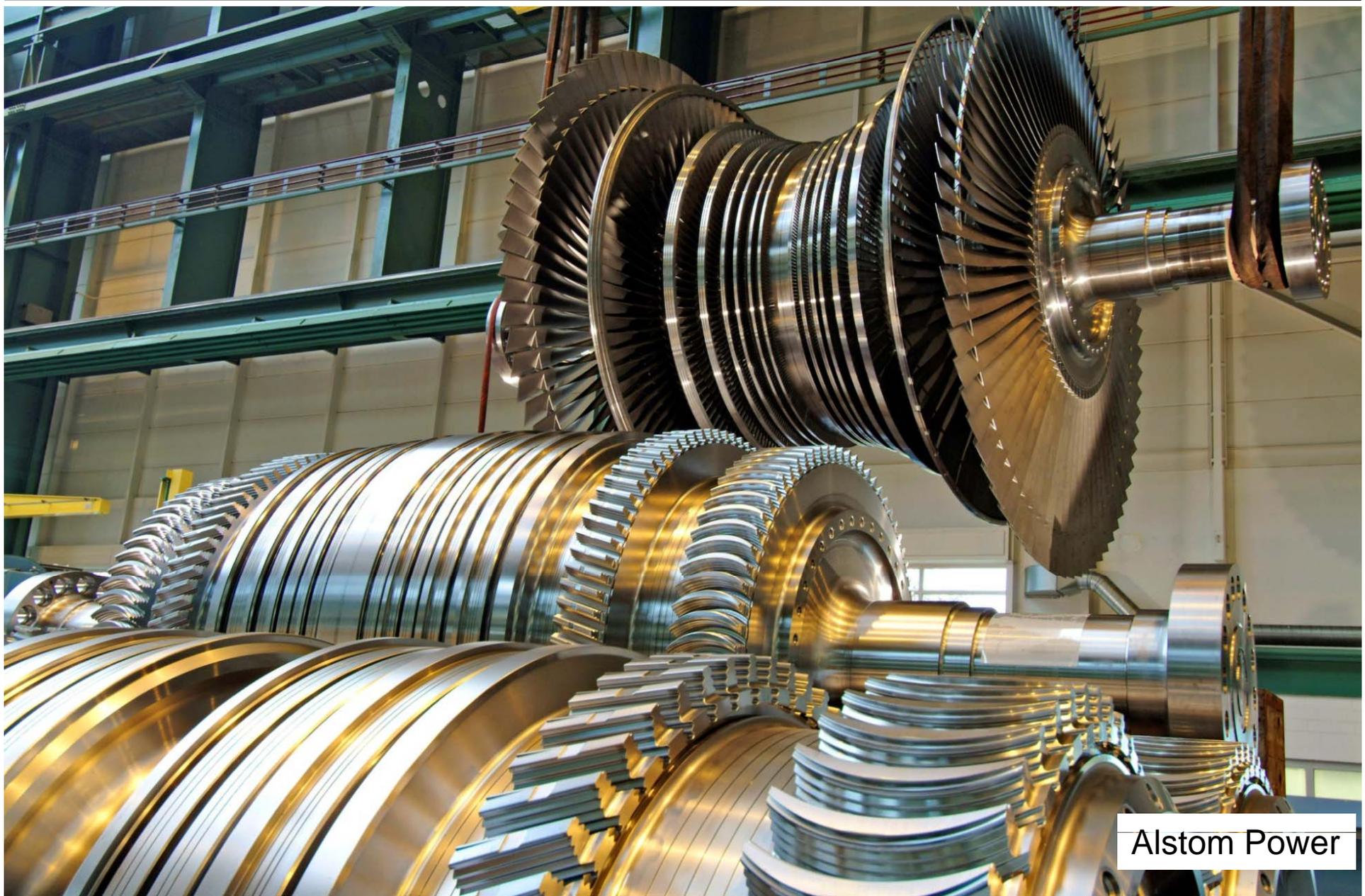




# Abguss eines Turbinengehäuses

**voestalpine**  
GIESSEREI LINZ GMBH





Alstom Power



Rafako, PI



Quelle :





„Schwarze Pumpe“, IP Innengehäuse, 40 t  
(G-X12CrMoWVNbN10-1-1)

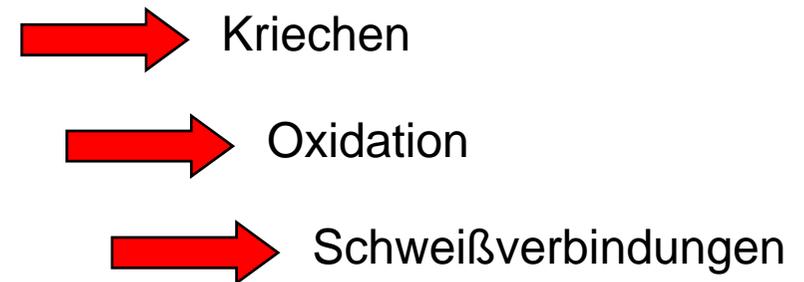


Skærbæk und Nordjylland,  
HP/IP- Gehäuse 20 t,  
(G-X12CrMoVNbN9-1)



Turbinen Rotor  
(COST FB2)

Design: >620°C  
>100 MPa  
>10<sup>5</sup>h (>10 Jahre)



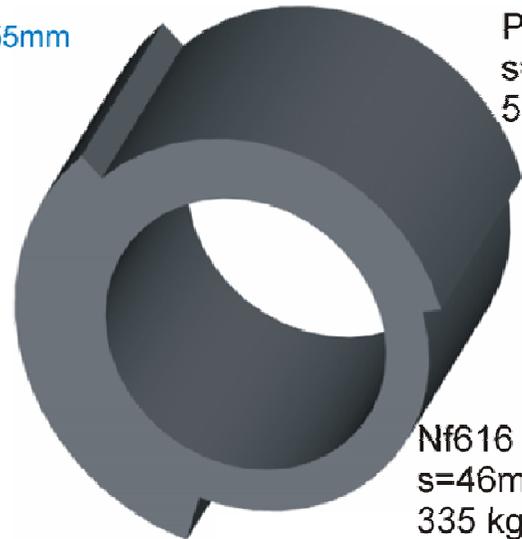
## Welchen Belastungen sind diese Bauteile ausgesetzt?

Dampfrohrlleitung

Innendurchmesser = 255mm

Dampfdruck = 300bar

Temperatur = 580°C



P91

s=66mm

512 kg/m

X20 CrMoV 12 1

s=97mm

1160 kg/m

Nf616 (P92)

s=46mm

335 kg/m

Diese Stähle müssen im Betrieb standhalten:

- hoher Temperatur (bis 650°C)
- hohem Druck (300 bar) → hoher Spannung (100 MPa)
- widrige Umgebungsbedingungen (Korrosion)
- lange Auslegungs-Lebensdauer 200.000 Stunden (~ 22,8 Jahre)

Creep and Damage Investigations

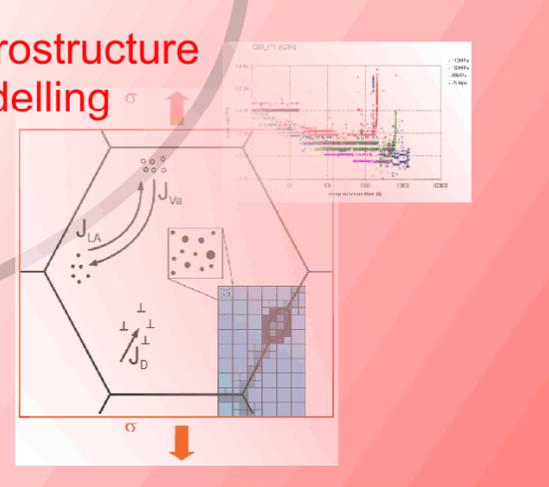
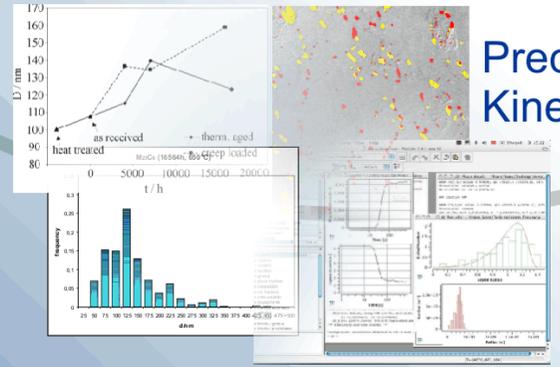
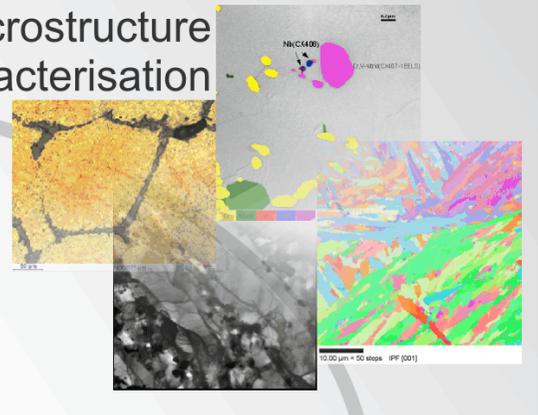
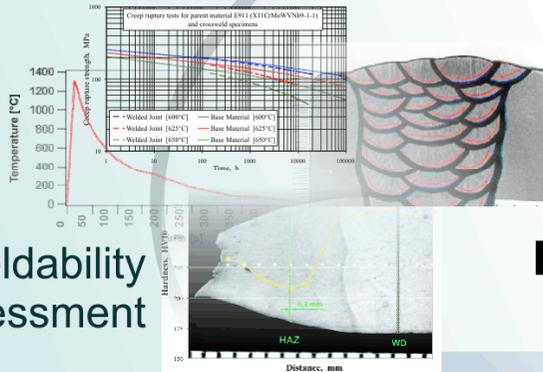
Microstructure Characterisation

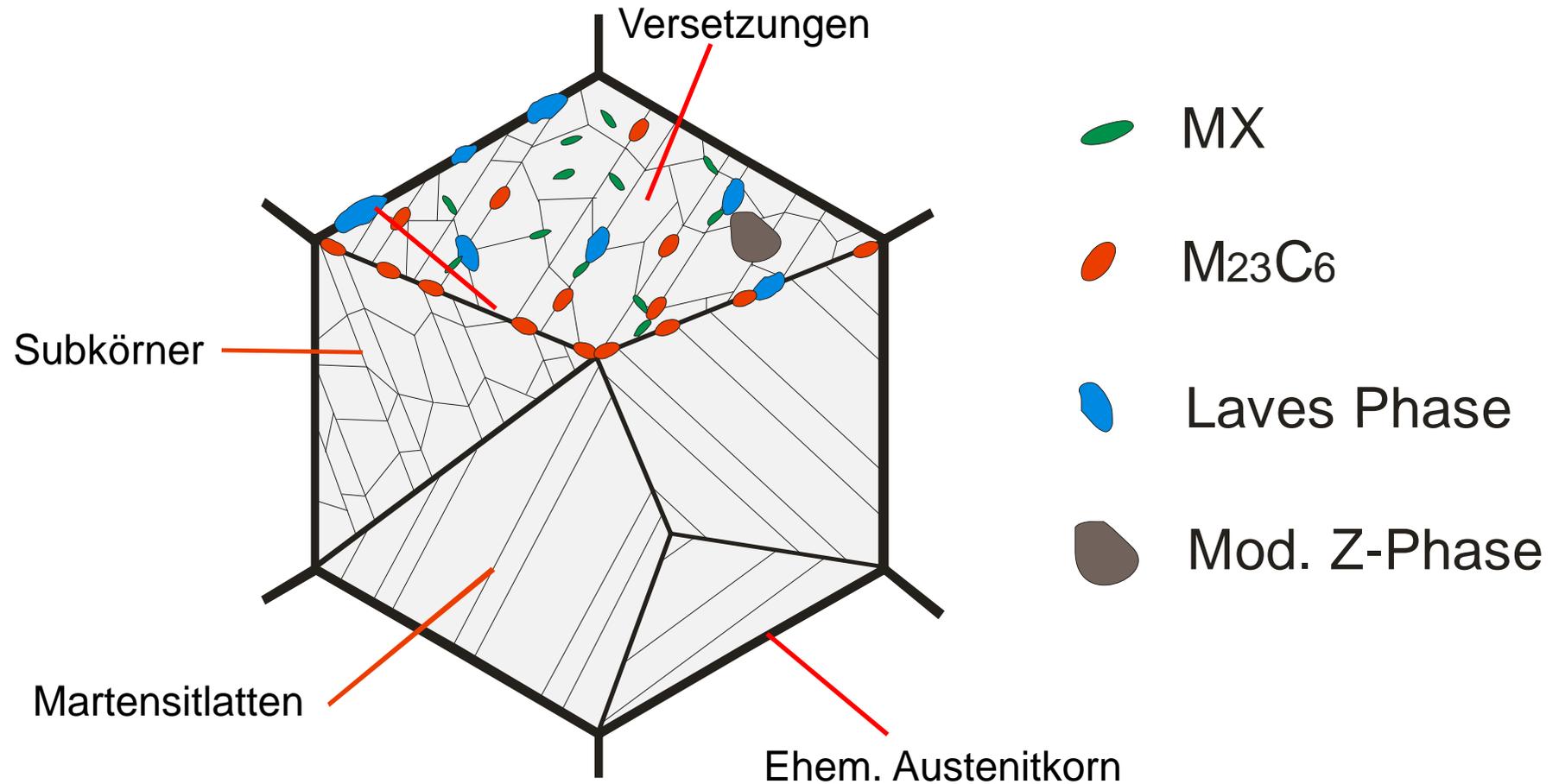
Improved creep resistant martensitic/ferritic steels

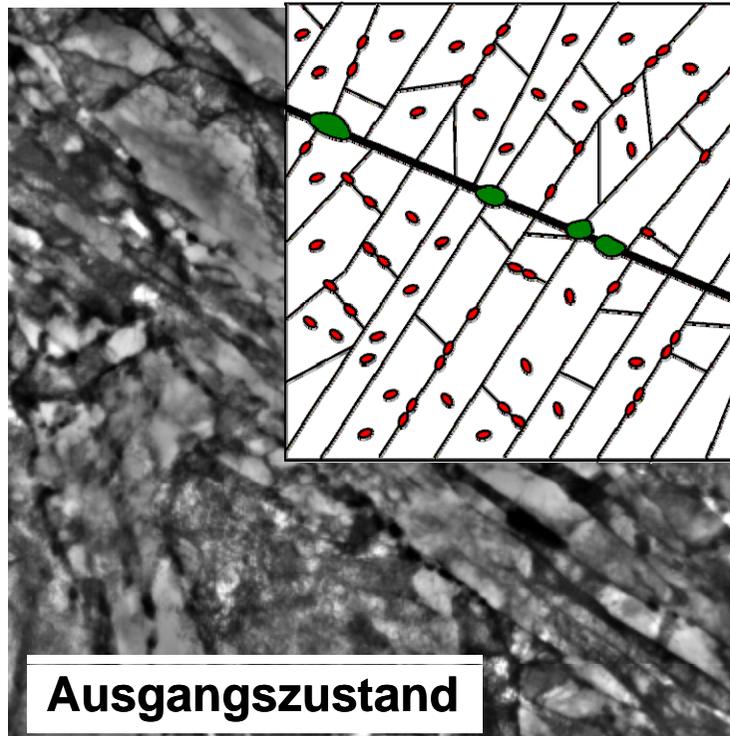
Microstructure Modelling

Precipitation Kinetics

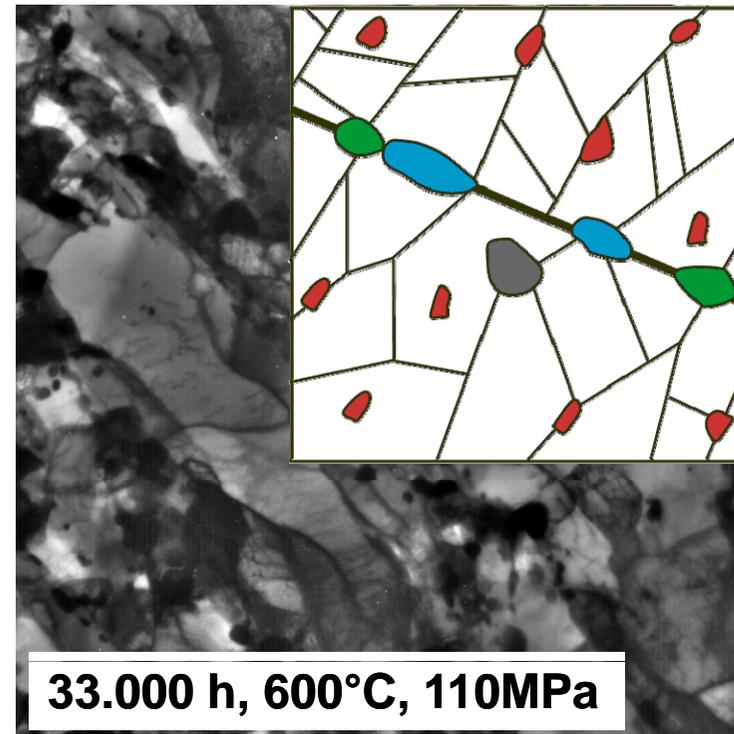
Weldability Assessment







**Ausgangszustand**



**33.000 h, 600°C, 110MPa**

Martensitlatten polygonalisieren  
Ausscheidungen vergrößern  
Ausscheidungen lösen sich auf  
Bildung von neuen Ausscheidungen

**Negative Beeinflussung des  
Kriechverhaltens und der  
Mechanischen Eigenschaften**

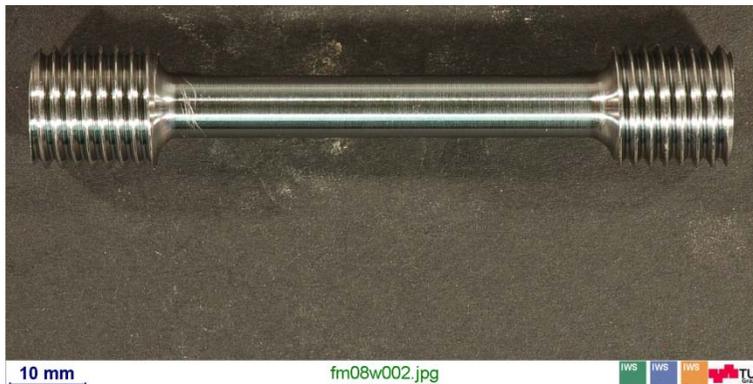
Langzeit-Kriechversuche in den Labors des IWS und ARC simulieren die realen Belastungen denen Stähle in thermischen Kraftwerken ausgesetzt sind.

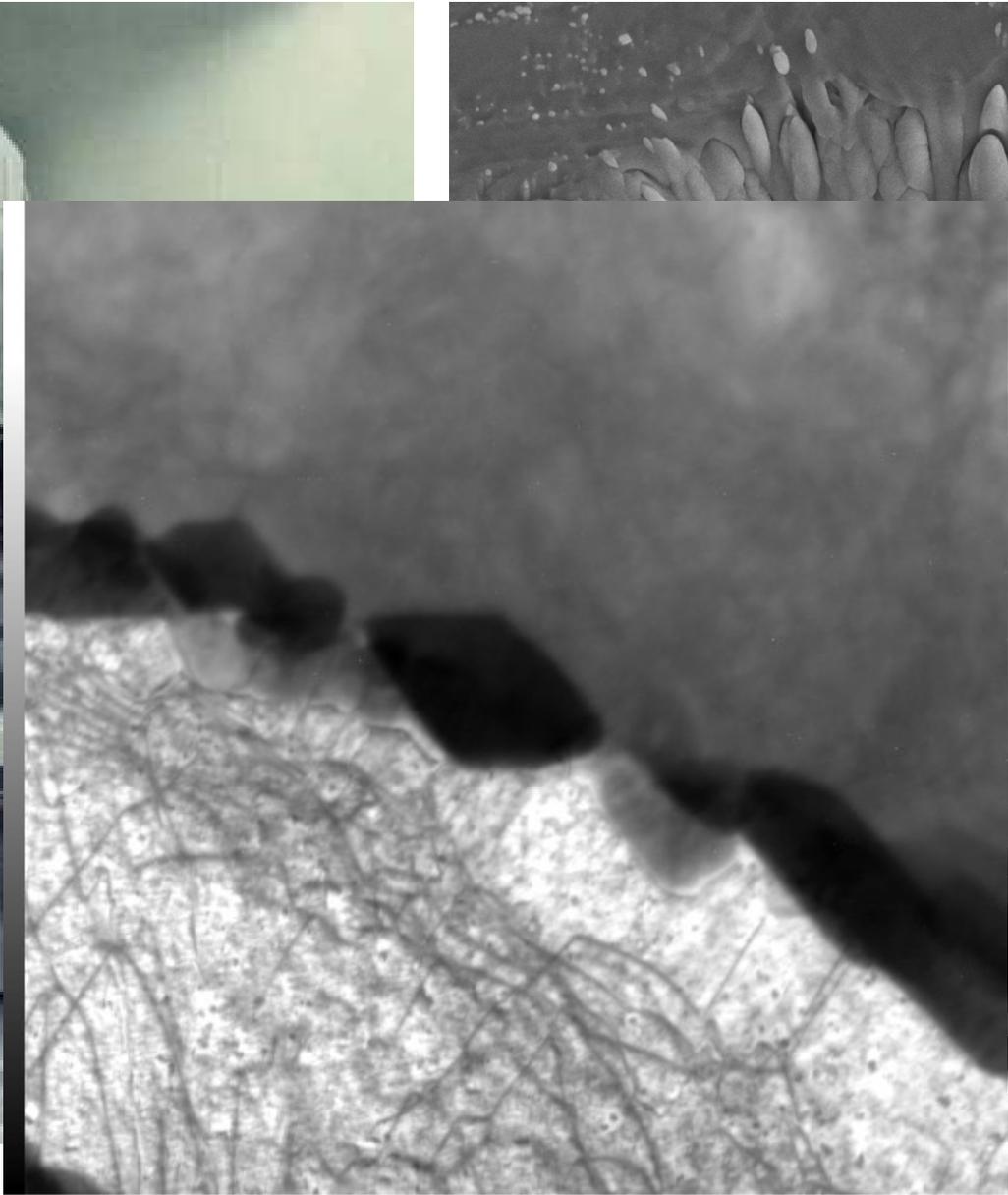
Parameter:

500 – 650°C

20 – 200 MPa

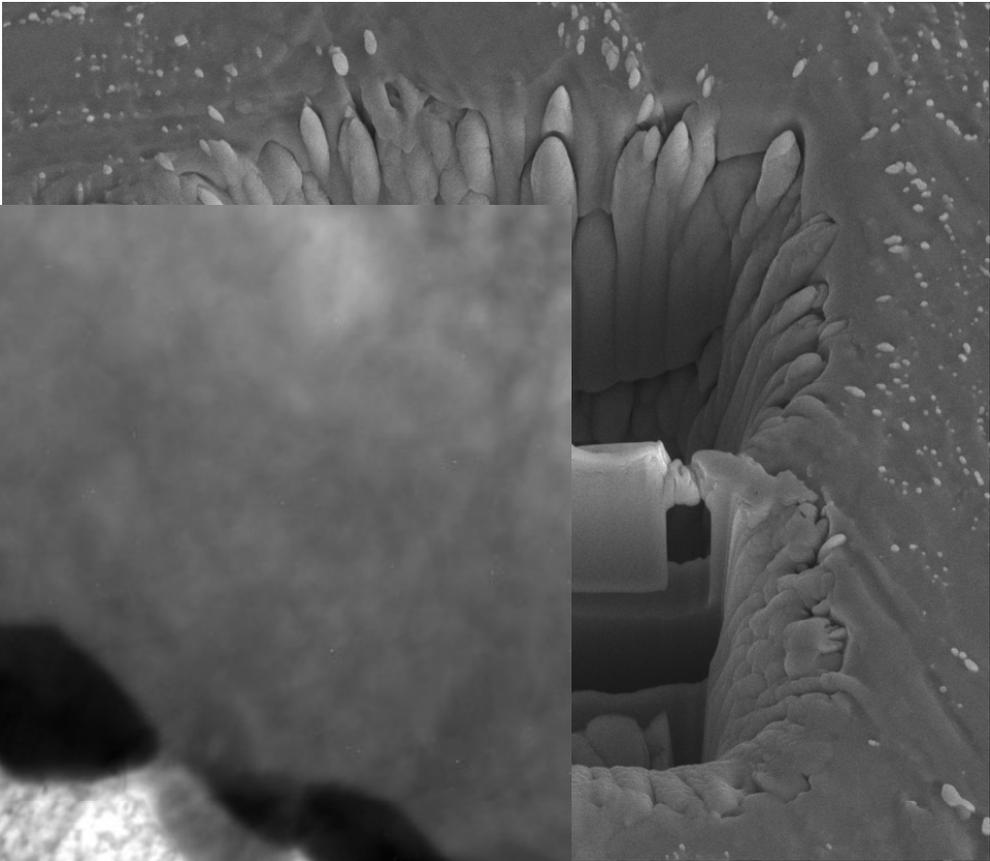
Laufzeiten bis  $10^5$  Stunden





250 nm

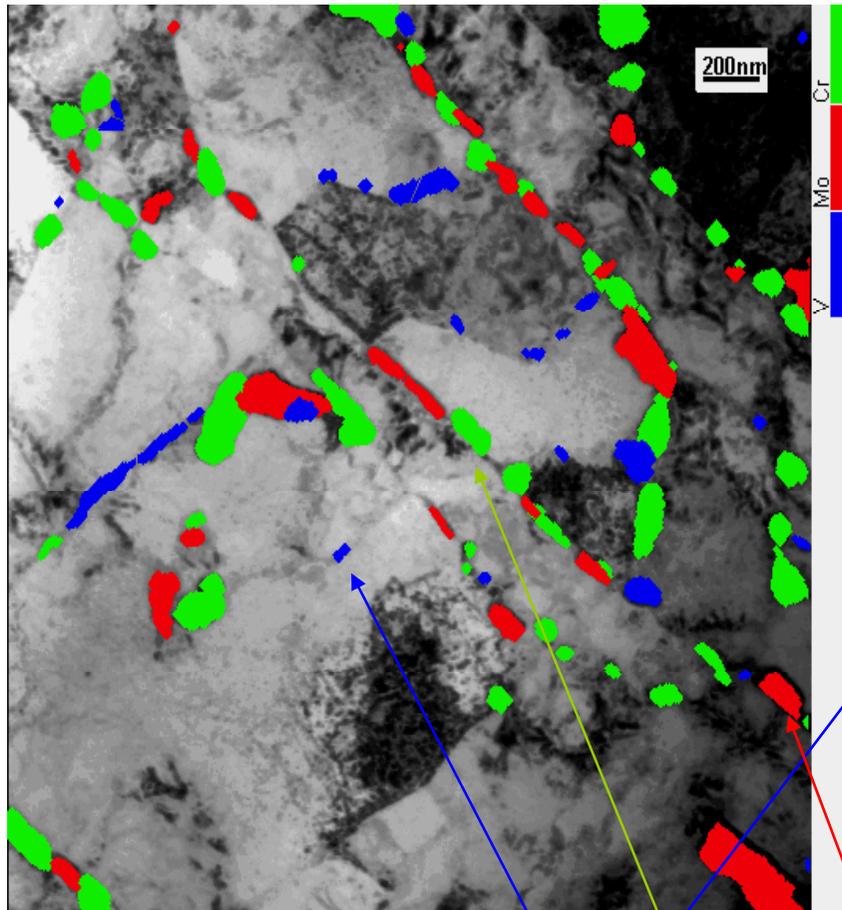
BF



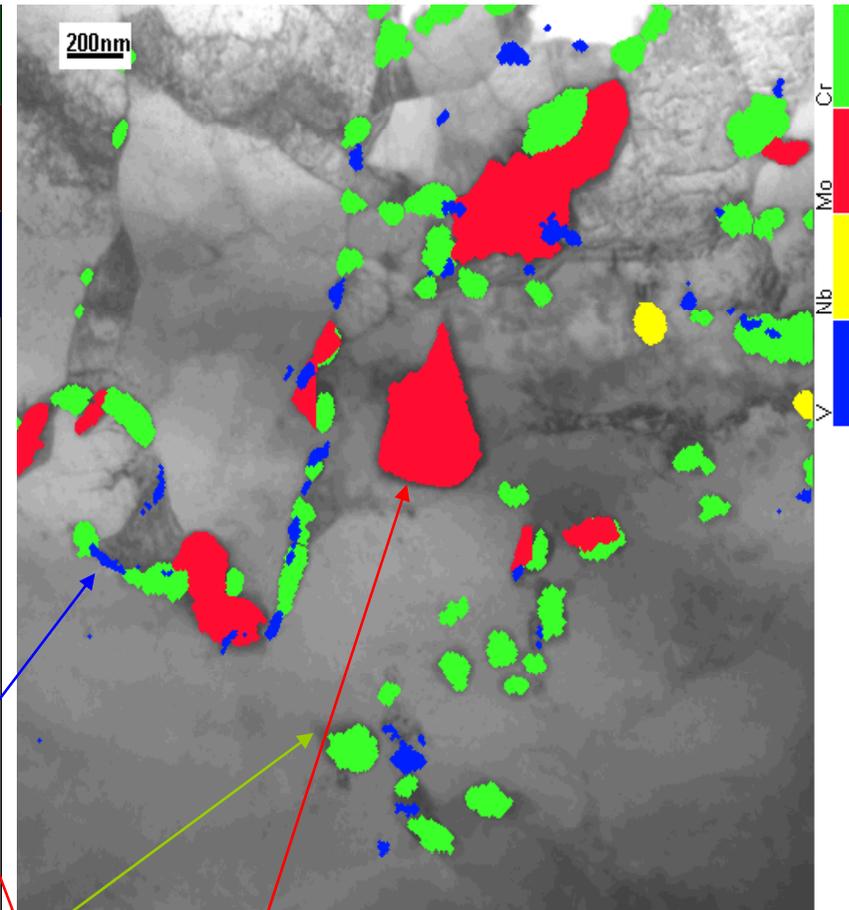
10 μm  
NIMS1

aufnahme mittels  
hl

600°C, 996 h



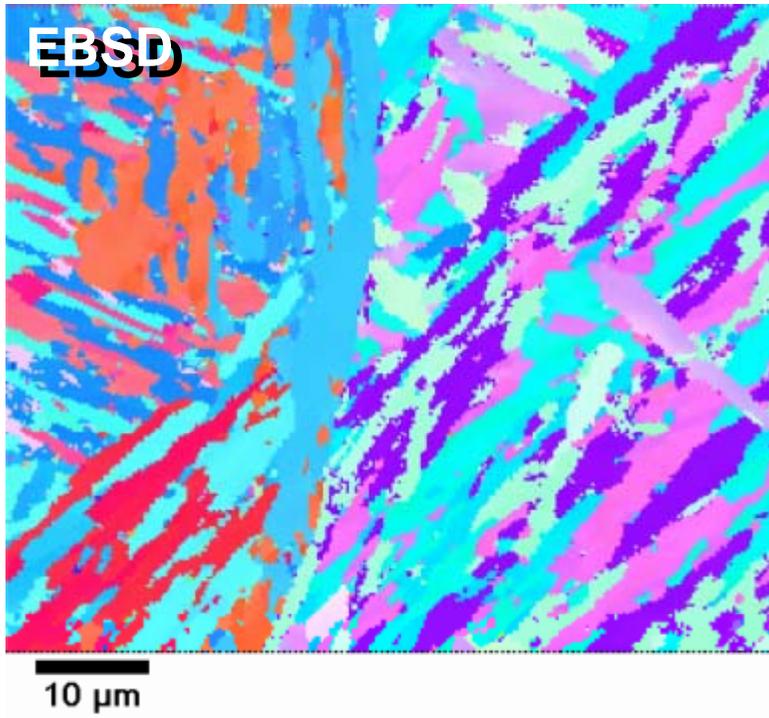
600°C, 12118 h



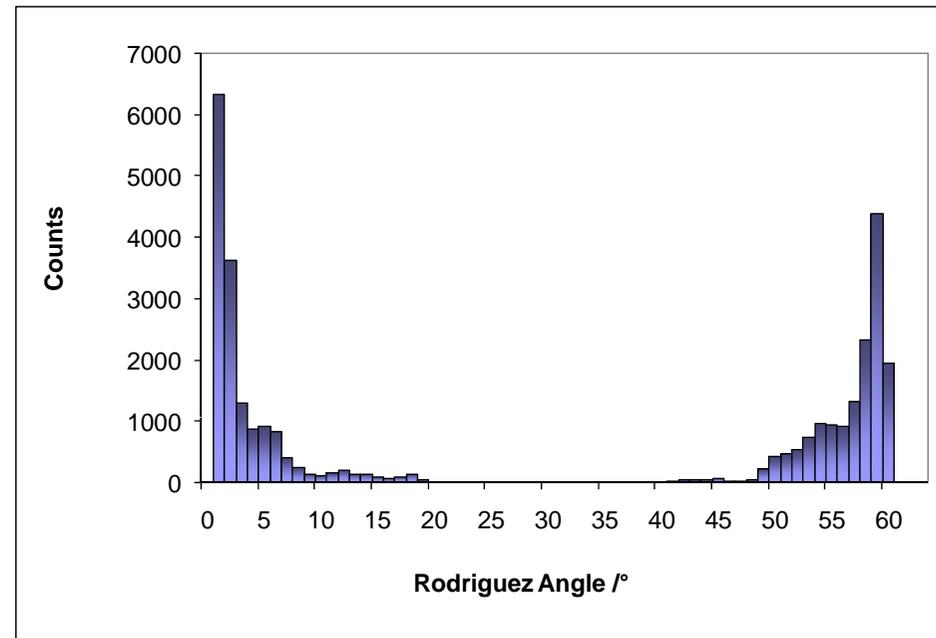
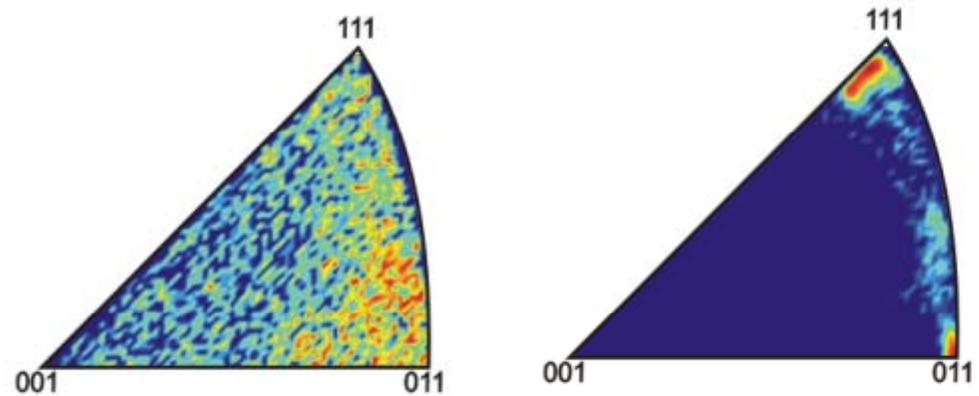
VN

$M_{23}C_6$

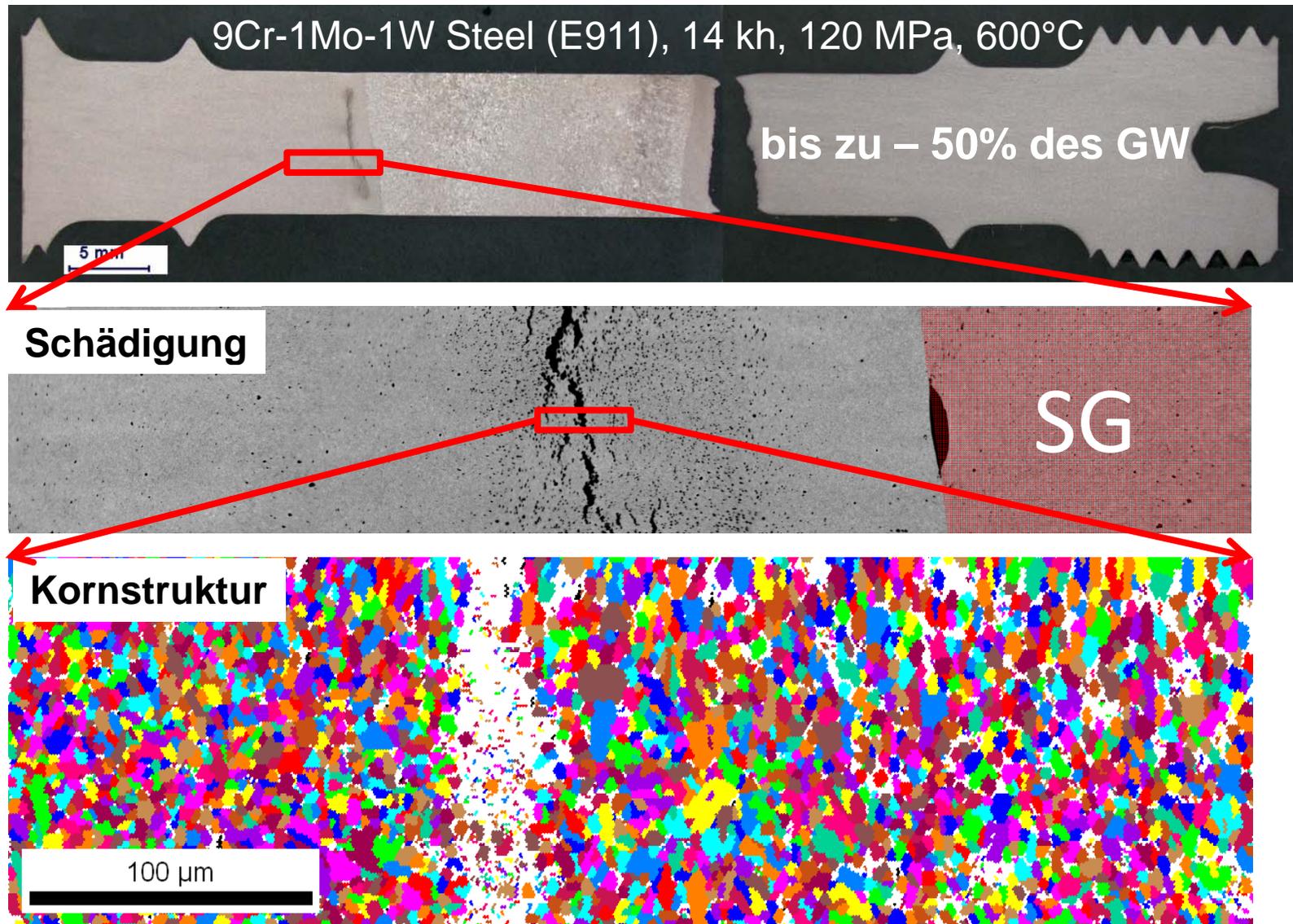
Laves P.



## Charakterisierung der Matrix

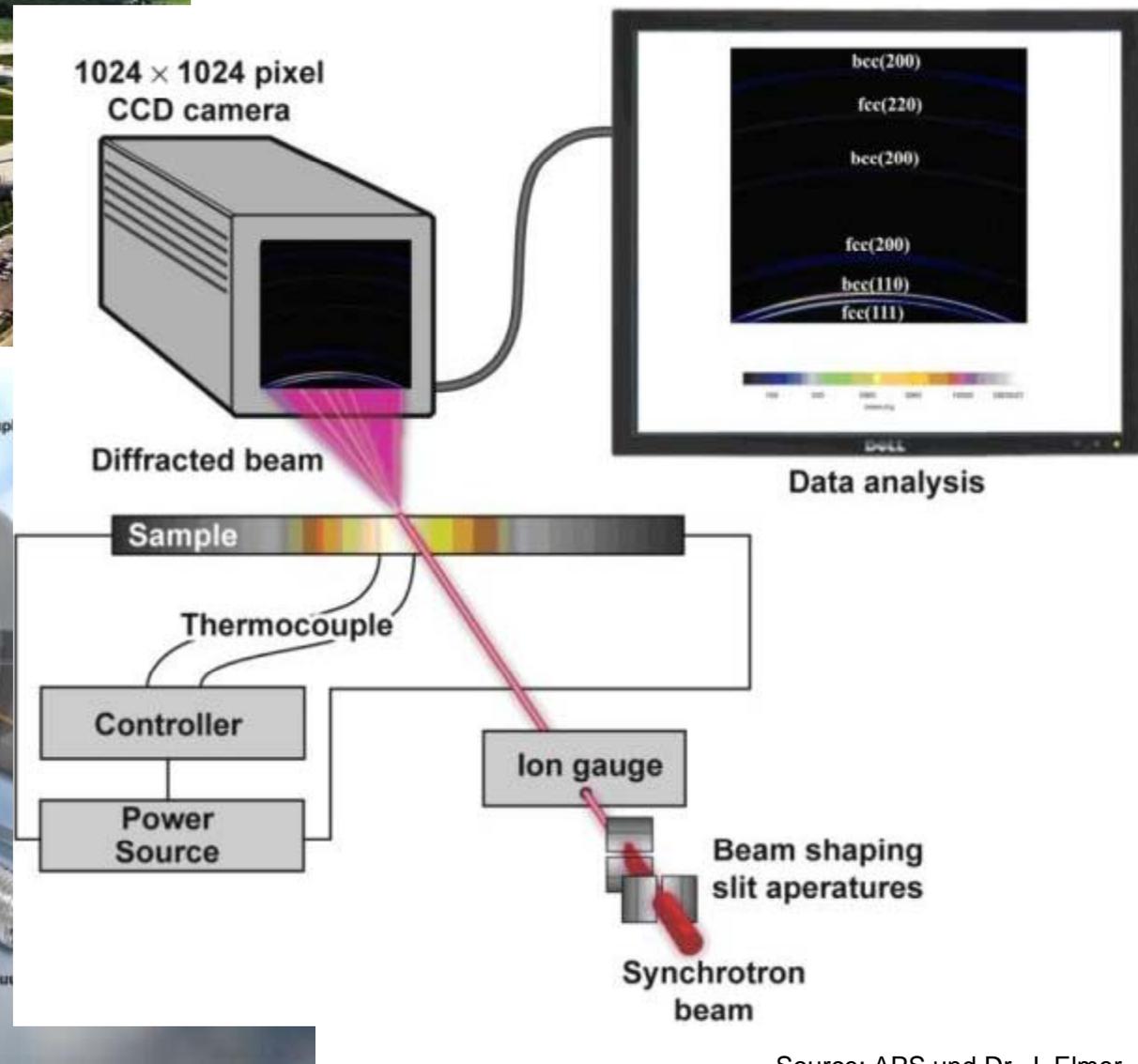
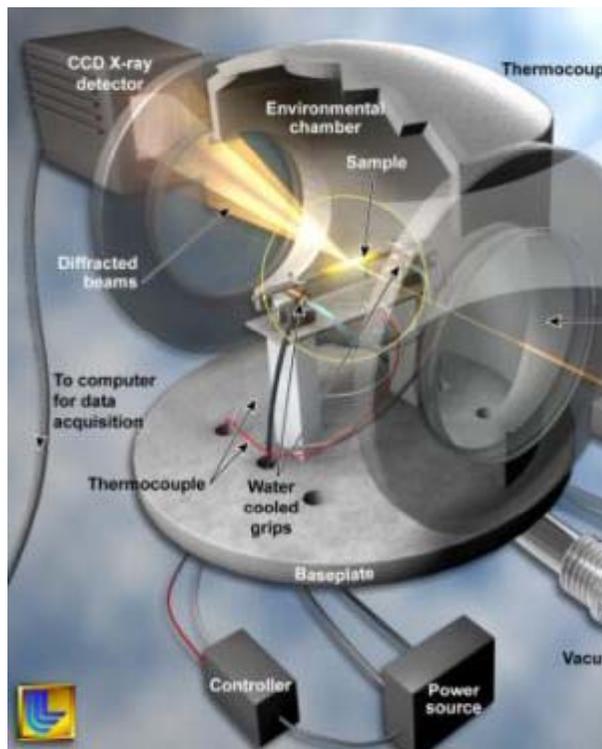


# Schweißverbindungen



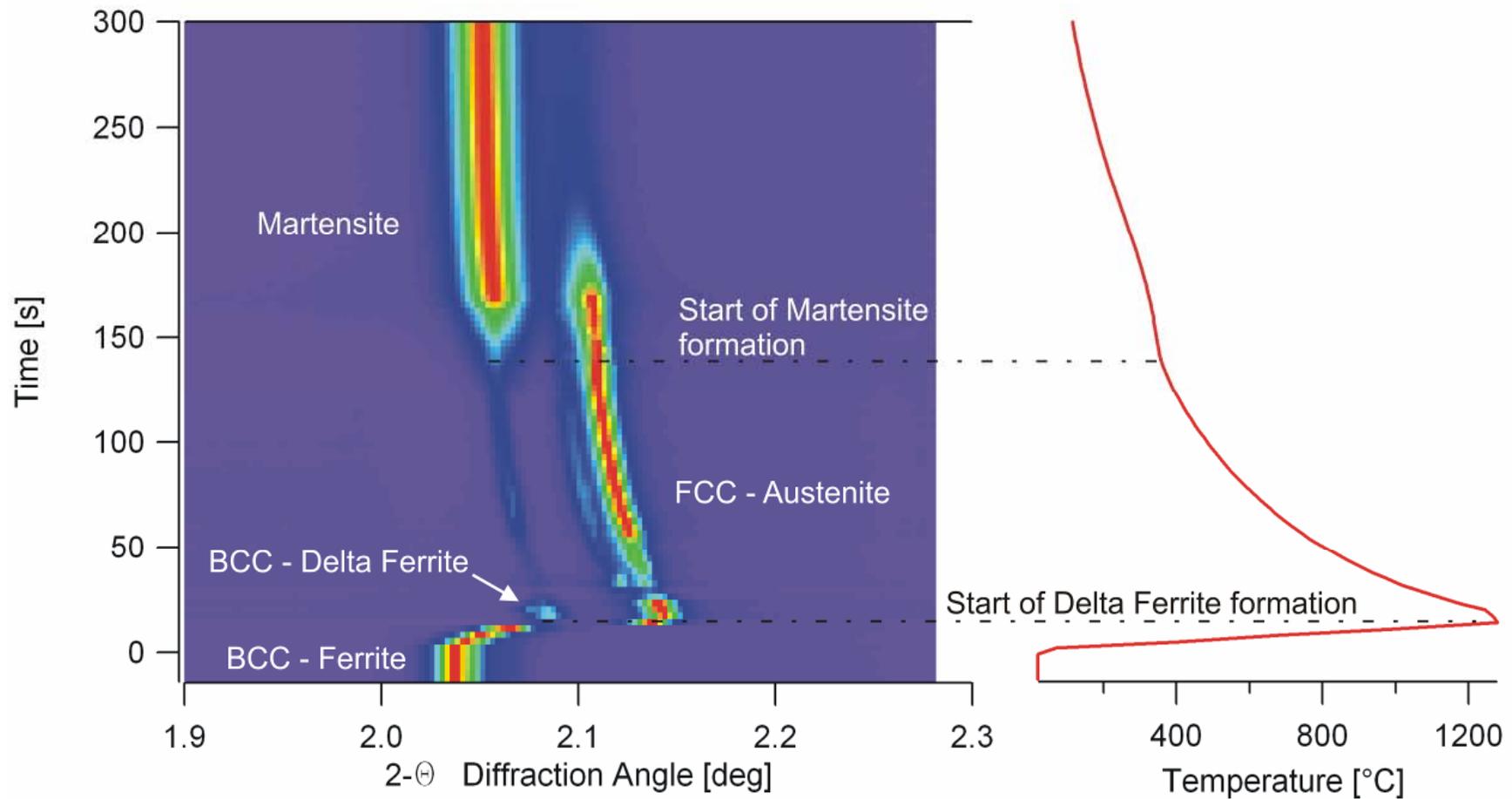
Mayr et al., PVP2007-26713, ASME, 2007

# Aufzeichnung von Phasenumwandlungen in-situ mittels Synchrotron Strahlung

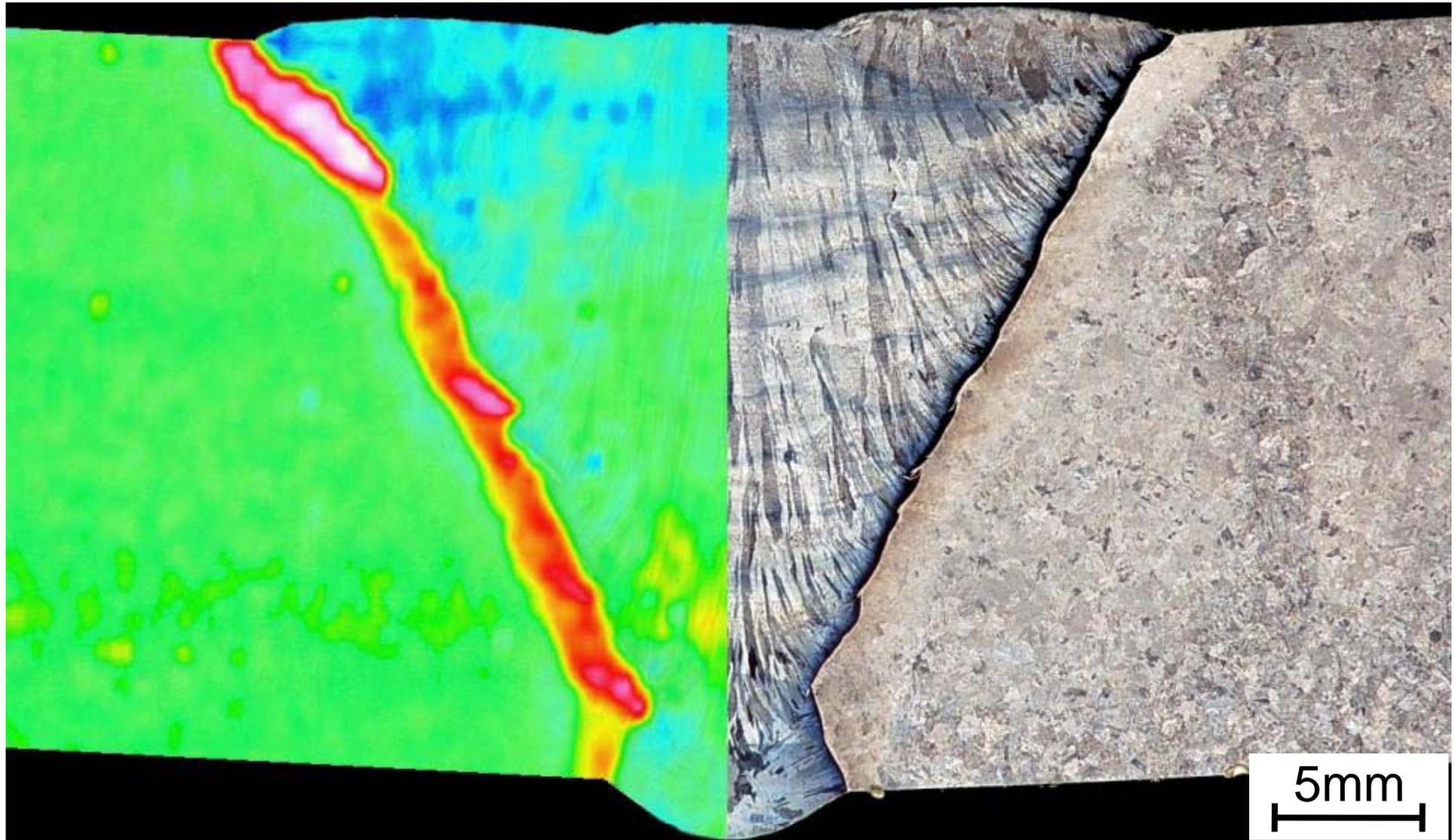


Source: APS und Dr. J. Elmer

# Phasenumwandlungen während eines Schweißzyklus



## Type IV Rissbildung – Härte Mapping



# Computersimulation



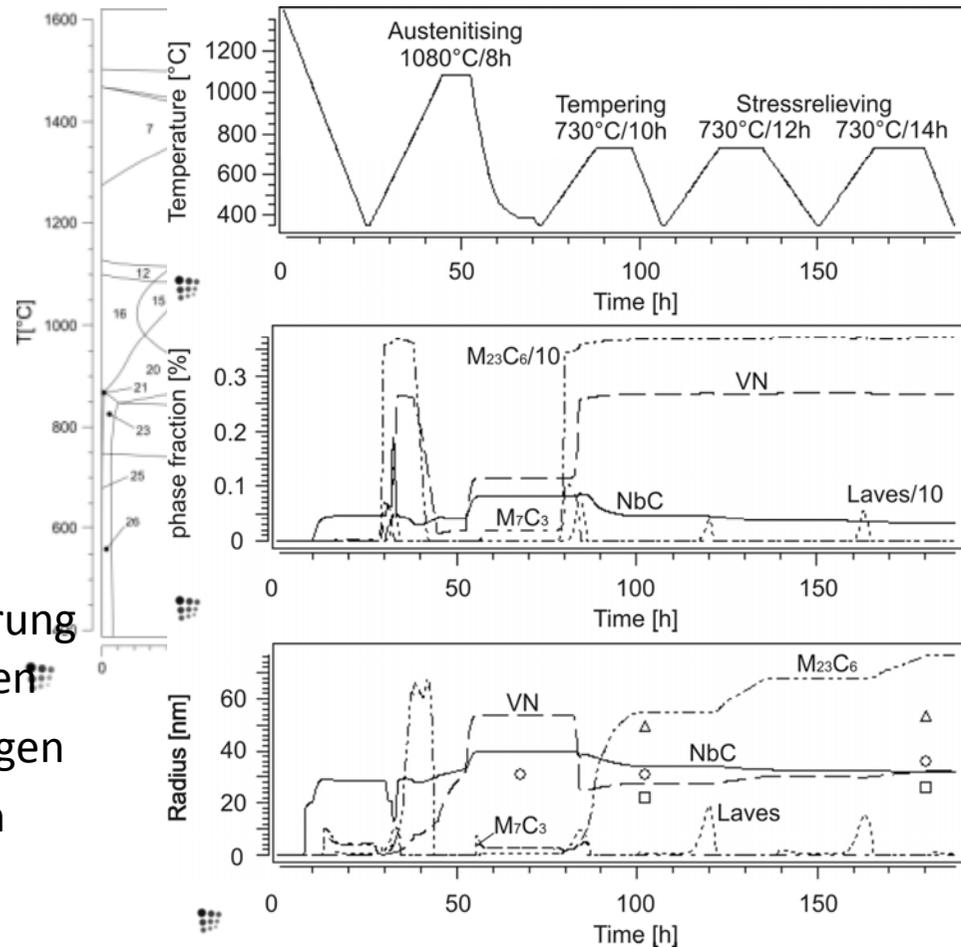
Materials Calculator:  
(<http://matcalc.tugraz.at>)

## Berechnung thermodynamischer Gleichgewichtszustände

- Phasenanteilsdiagramme
- Phasendiagramme
- Chem. Zusammensetzung
- ...

## Simulation Ausscheidungskinetik

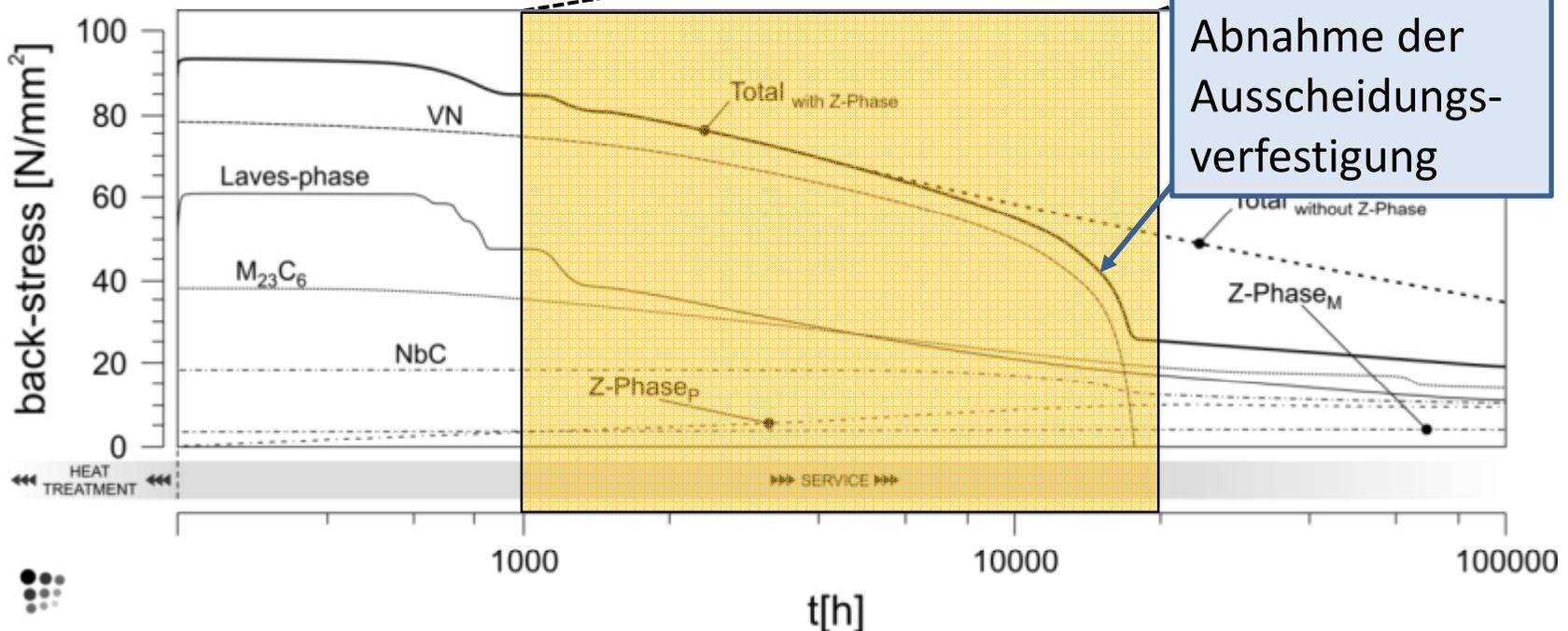
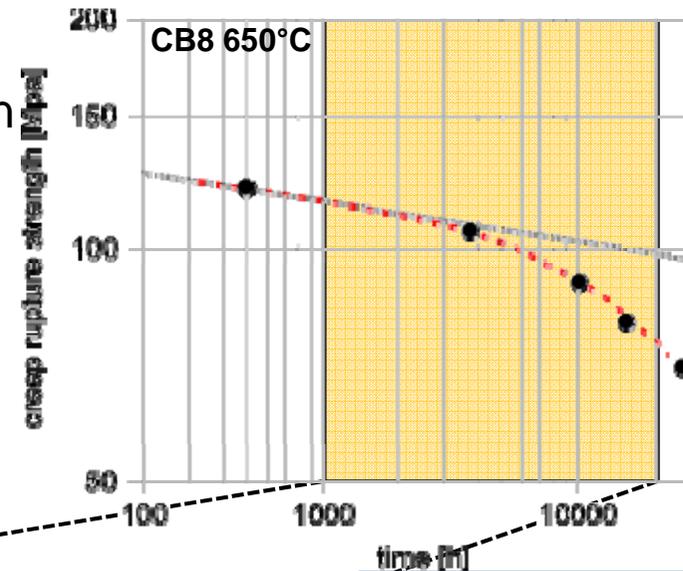
- Nukleation, Wachstum, Vergrößerung und Auflösung von Ausscheidungen
- Simulation von Wärmebehandlungen
- Berechnung von TTP-Diagrammen
- ...



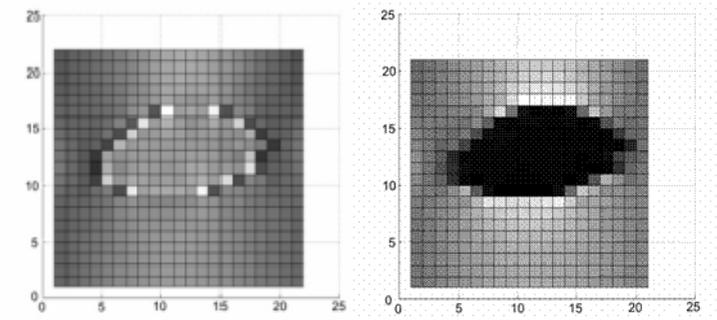
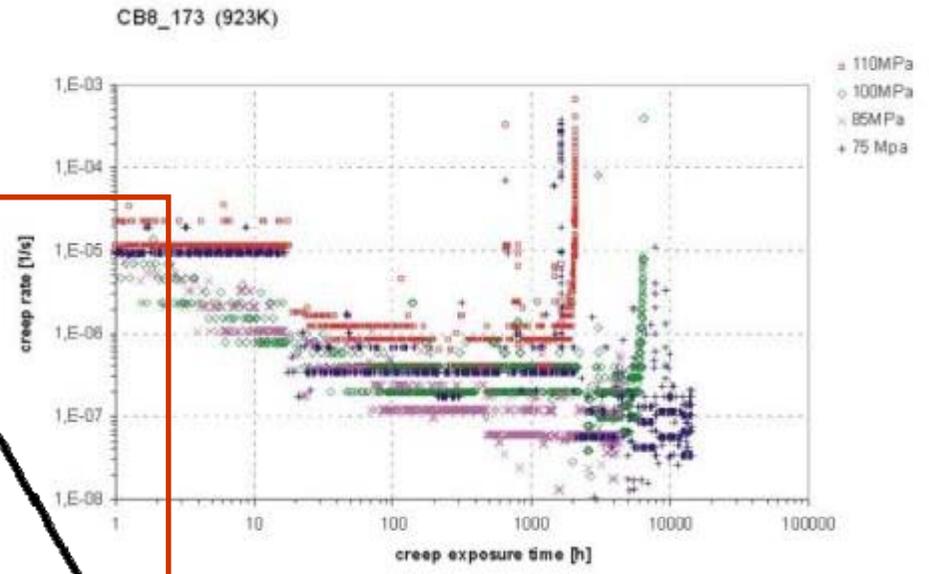
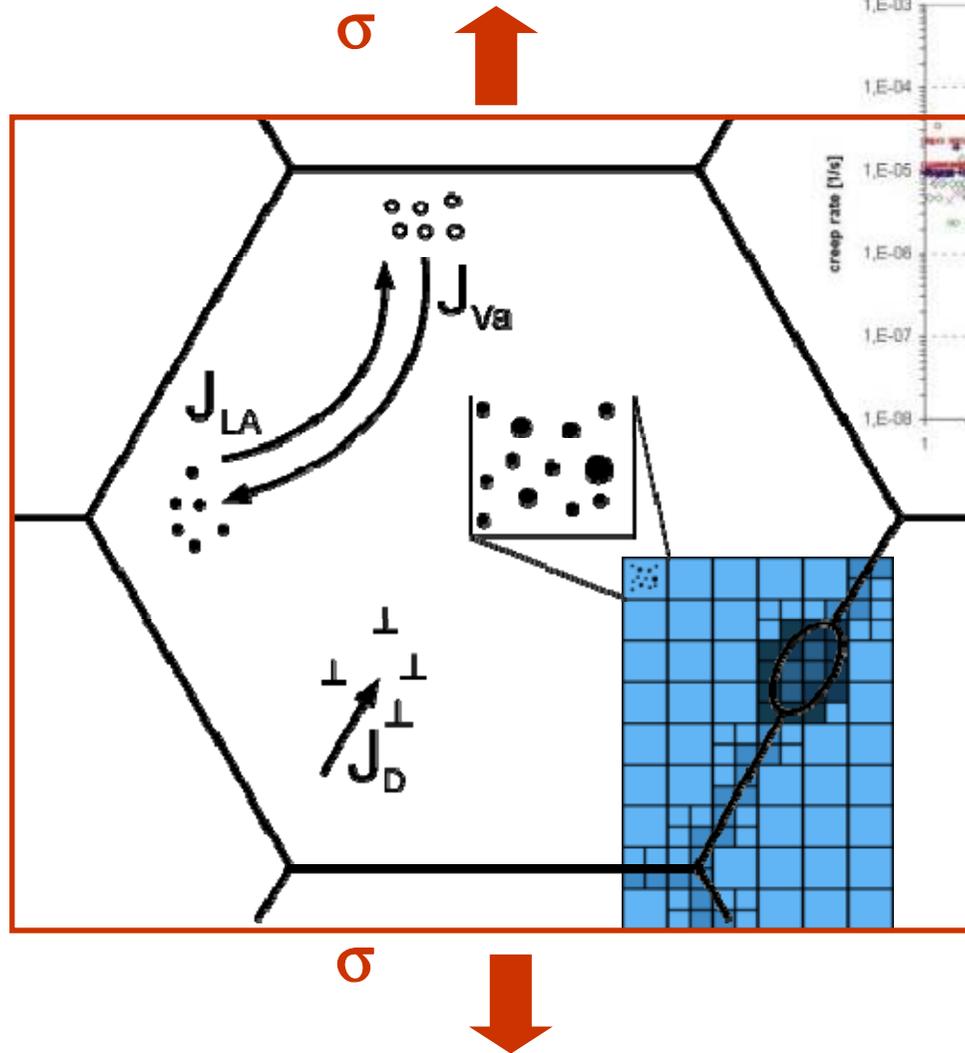
# Koppelung Kinetiksimulation und Festigkeit

Berechnung des Anteils von Ausscheidungen an der Festigkeit (Orowan Spannung) bei 650°C im Vergleich zur gemessenen Kriechfestigkeit bei 650°C

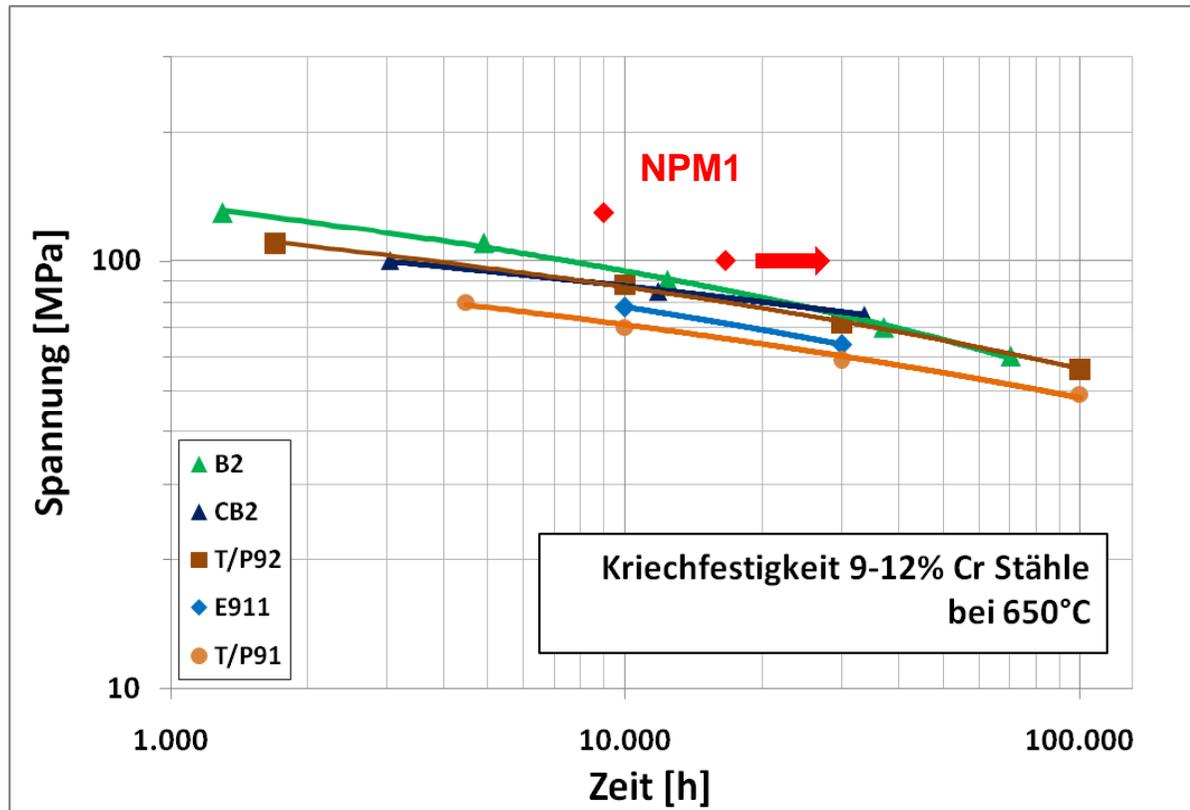
➔ Abnahme der Ausscheidungsverfestigung = Abnahme der Kriechfestigkeit



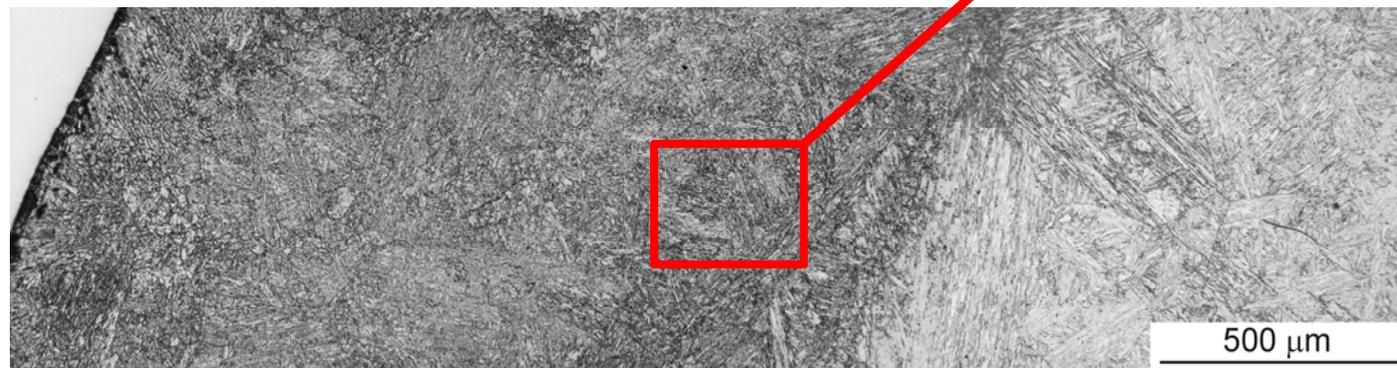
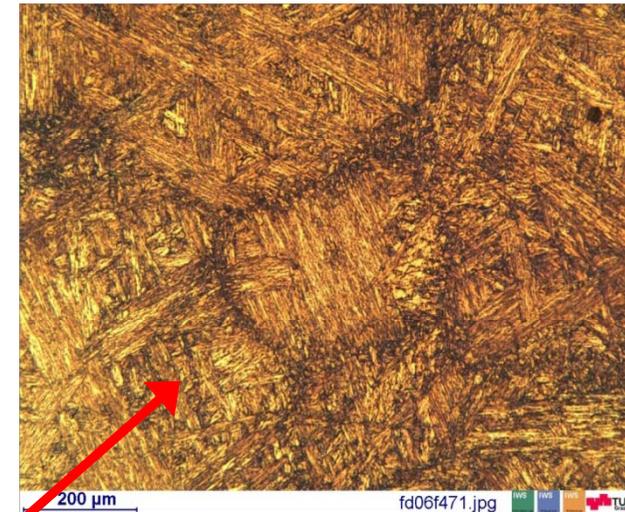
# Modellierung der Mikrostruktur beim Kriechen



**Einfluss eines harten Karbid-Teilchens auf die umgebende Matrix**



9Cr-3W-3Co Stahl mit kontrolliertem B/N Verhältnis NPM1



# Dr. Wolfgang Houska der B&C Privatstiftung – Preis 2007

Bewerbungsunterlagen: Dr. Wolfgang Houska Preis 2007

**Werkstoffentwicklung zur Effizienzsteigerung in der Energieerzeugung als aktiver Beitrag zur CO<sub>2</sub> Reduktion**

Ein Gemeinschaftsprojekt der Technischen Universität Graz mit dem Austrian Research Center, Böhler Edelstahl GmbH, Böhler Schweißtechnik Austria GmbH, MCE Industrietechnik Linz und der voestalpine Gießerei Linz GmbH

Eingereicht durch:  
o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Horst. H. Cerjak,  
Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Mayr,  
Dipl.-Ing. Ivan Holzer in Vertretung aller beteiligten Partner

Graz, Dezember 2007

Höchst dotierter Wissenschaftspreis Österreichs ging an das Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik der TU Graz



Das Projektteam des IWS mit Dr. Krystina Spiradek von ARC Seibersdorf, Dr. Susanne Baumgartner von Böhler Schweißtechnik, DI Reinhold Hanus Voestalpine Gießerei Linz und Dr. Erich Hampel, Vorsitzender des Vorstandes der B&C Privatstiftung.

- Stromerzeugung in Thermischen Kraftwerken wird auch in den nächsten 20 Jahren eine wesentliche Rolle spielen.
- Thermische Kraftwerke mit einem hohen Wirkungsgrad können einen aktiven Beitrag zur Reduzierung der Emissionen liefern ohne, dass der Konsument dadurch betroffen ist.
- Kriechfeste martensitische 9-12% Cr-Stähle sind besonders für dickwandige Komponenten von großem Interesse. Die weltweite Nachfrage seitens der Kraftwerksbetreiber und –produzenten spiegelt dies wider.
- Die ARGE COST 536 ACCEPT ist ein Musterbeispiel für eine erfolgreiche Kooperation zwischen Industrie, Universität und einem Forschungsinstitut. Die ARGE COST 536 zeigt wie höchst erfolgreich Grundlagenforschung und angewandte Forschung in einem gemeinsamen Projekt vereint werden können.
- 9-12% Cr-Stähle haben das Potential bei Temperaturen bis 650°C eingesetzt zu werden. Dazu sind jedoch weitere Forschungsaktivitäten erforderlich, die im Speziellen das Langzeitverhalten unter Zuhilfenahme modernster Untersuchungsmethoden und Computersimulationen erforschen.

Spezieller Dank gilt allen beteiligten Projektpartnern der ARGE COST 536 für die jahrelange Unterstützung und hervorragende Zusammenarbeit und der FFG für die Förderung dieses Forschungsvorhabens.