

# WARUM ALTERN UNSERE STRASSEN? WO GEHT'S HIER ZUM JUNGBRUNNEN?

**Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Bernhard HOFKO**

**Dr. Johannes MIRWALD**

**Dipl.-Ing. Kristina HOFER**

Technische Universität Wien

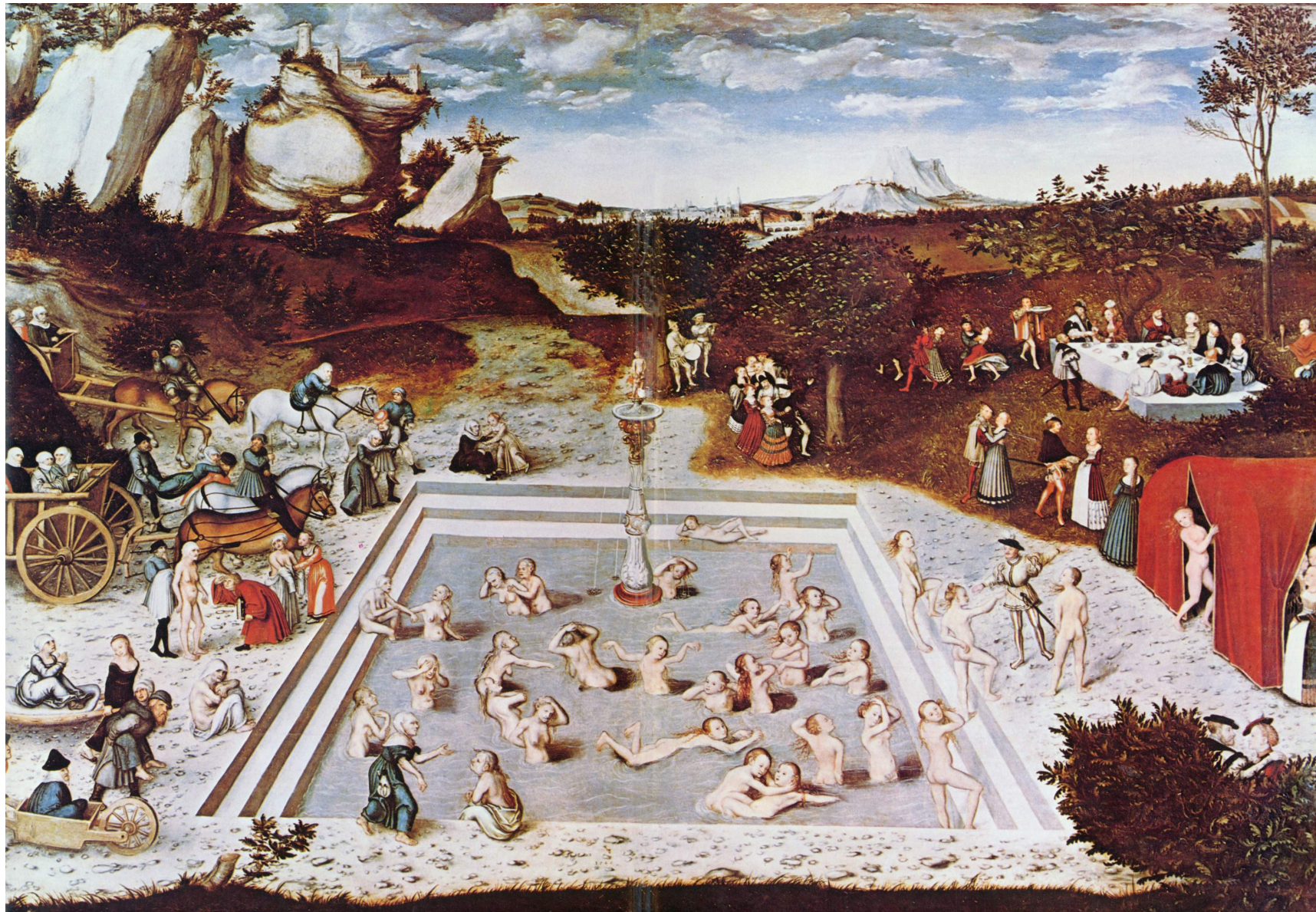
Straßenbautechnisches Labor, Forschungsbereich Straßenwesen

Christian Doppler Labor für Chemo-Mechanische Analyse von bituminösen Stoffen



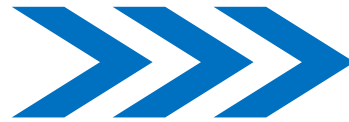
# Inhalt

- Motivation
- Warum altern unsere Straßen?
- Feldalterung vs. Laboralterung
- Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation
- Jungbrunnen in Sicht?
- Zusammenfassung



Lucas Cranach d. Ä.: Der Jungbrunnen, 1546

# Motivation



Alterung hat Einfluss auf

- Erhaltungsaufwand  
→ Lebensdauer
- Recyclingpotenzial  
→ „Fußabdruck“



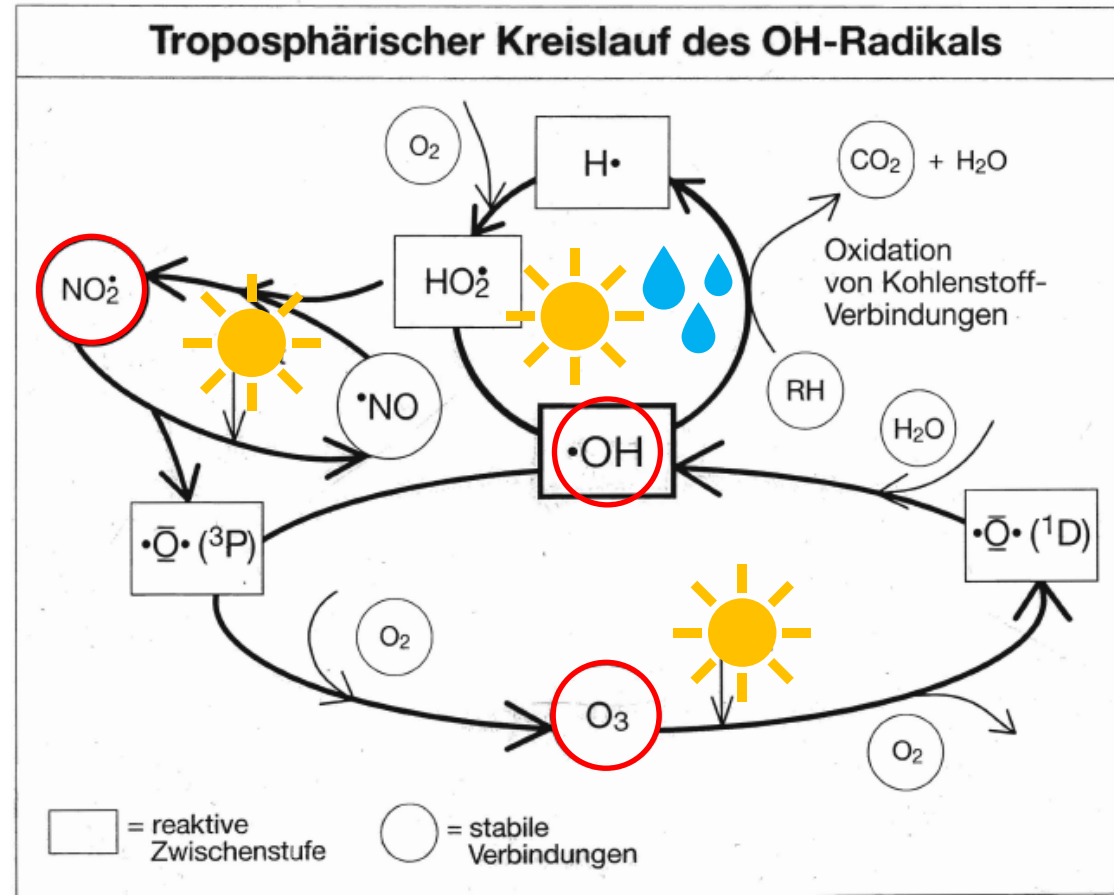
# Warum altern unsere Straßen? Einflüsse der Atmosphäre

## Molekularer Sauerstoff ( $O_2$ )

→ Geringe Oxidationswirkung bei troposphärischen Umgebungsbedingung (Temperatur, Druck)

**Reaktive Sauerstoffspezies (ROS)** treiben die bodennahe Oxidation

Licht (UV-VIS)   
Luftfeuchte   
haben wesentlichen Einfluss



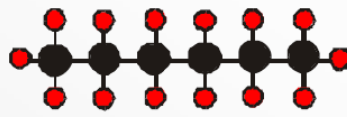

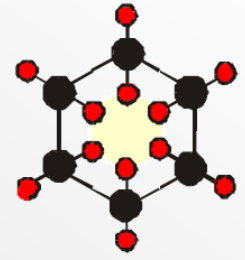
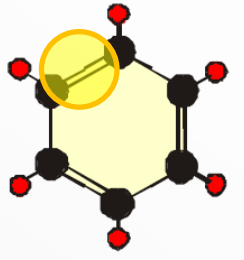
# Warum altern unsere Straßen?

## Voraussetzung zur Alterung im Material



- Bitumen – organischer Baustoff
- Gemisch aus Kohlenwasserstoffen mit Spuren von Schwefel, Sauerstoff, Stickstoff und Metallen

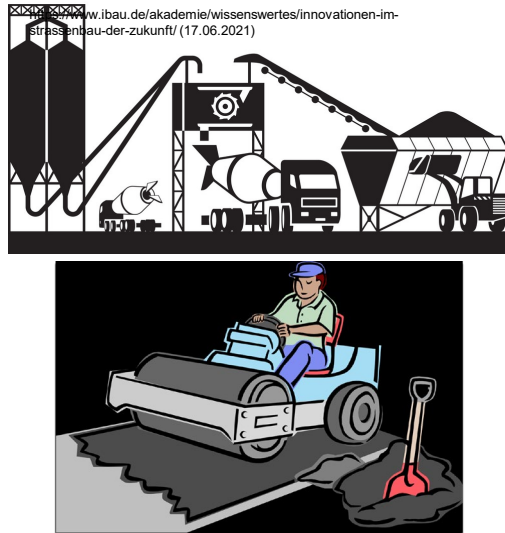


	Gesättigt (reaktionsträge)	Ungesättigt (reaktionsfreudig)
<b>Kettenmoleküle</b>	Hexan $C_6H_{14}$ 	Hexen $C_6H_{12}$ 
<b>Ringmoleküle</b>	Zyklohexan $C_6H_{12}$ 	Benzol $C_6H_6$ 

# Feldalterung vs. Laboralterung

## Kurzzeitalterung

Feld



**Alterungsfaktoren**  
Hohe Temperaturen  
Hohe spezifische  
Oberfläche

Labor: RTFOT

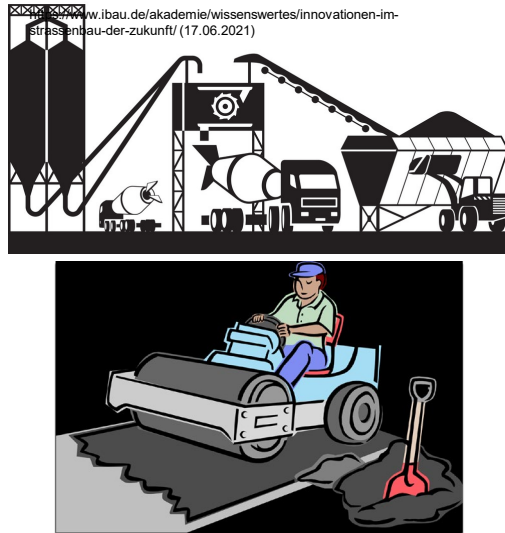


**Alterungsfaktoren**  
Hohe Temperaturen  
Hohe spezifische  
Oberfläche

# Feldalterung vs. Laboralterung

## Kurzzeitalterung

Feld



Labor: RTFOT



**Alterungsfaktoren**

Hohe Temperaturen

Hohe spezifische  
Oberfläche

**Alterungsfaktoren**

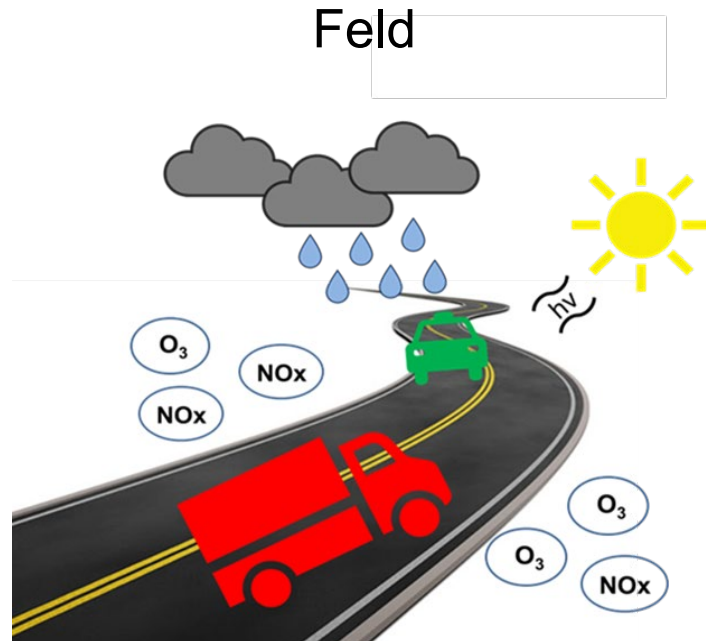
Hohe Temperaturen

Hohe spezifische  
Oberfläche



# Feldalterung vs. Laboralterung

## Langzeitalterung



**Alterungsfaktoren**  
Luft und ROS (O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)  
Luftfeuchtigkeit  
Strahlung (UV-VIS)  
Temperaturen <65°C  
Mechanische Belastung

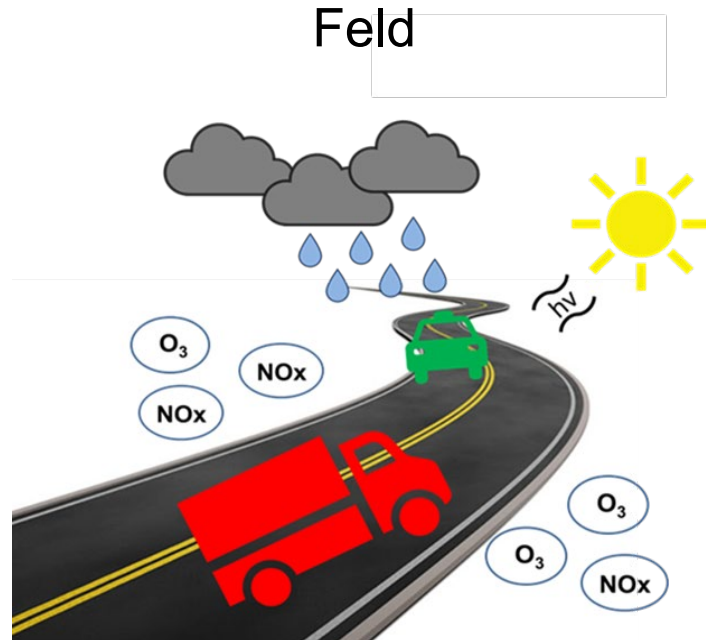
Labor: PAV



**Alterungsfaktoren**  
Luft  
Temperaturen ~100°C  
Überdruck ~20 bar

# Feldalterung vs. Laboralterung

## Langzeitalterung



Labor: PAV



**Alterungsfaktoren**  
Luft und ROS (O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>)  
Luftfeuchtigkeit  
Strahlung (UV-VIS)  
Temperaturen <65°C  
Mechanische Belastung

**Alterungsfaktoren**  
Luft  
Temperaturen ~100°C  
Überdruck ~20 bar

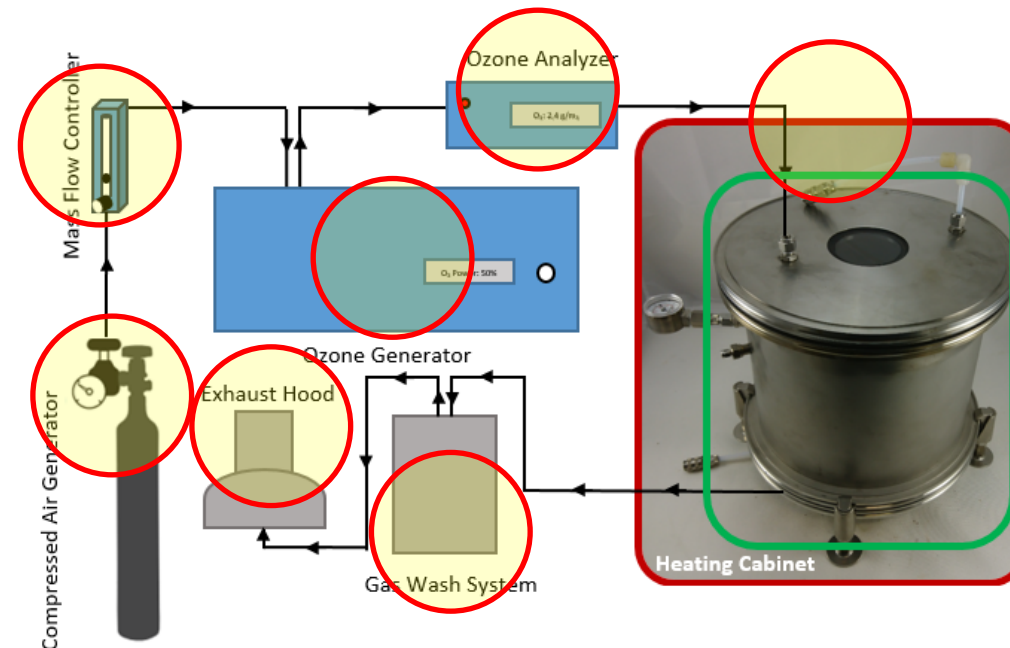
# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## VBA – Viennese Binder Ageing

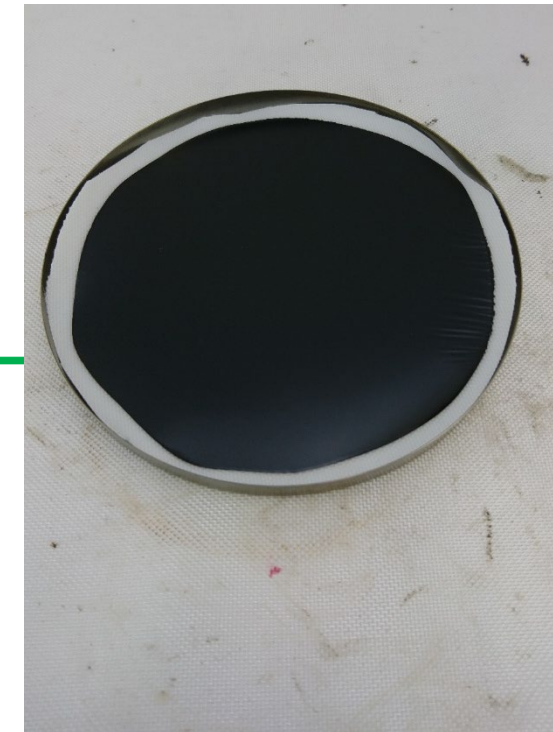
### Prinzip

- Umgebungstemperatur (60°C Straße, 80°C Dachbahnen)
- Umgebungsdruck (Luftdruck)
- Mit ROS (Ozon, Stickoxide) angereicherte Druckluft
- Rasche Alterung (Oxidation)  
→ **effizient**
- **Realitätsnahe**  
Randbedingungen

### Bitumenebene



### Bitumenfilm



# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## VAPro – Viennese Ageing Procedure

### Prinzip

- Umgebungstemperatur (60°C Straße, 80°C Dachbahnen)
- Umgebungsdruck (Luftdruck)
- Mit ROS (Ozon, Stickoxide) angereicherte Druckluft
- Rasche Alterung (Oxidation)  
→ **Effizienz**
- **Realitätsnahe** Randbedingungen

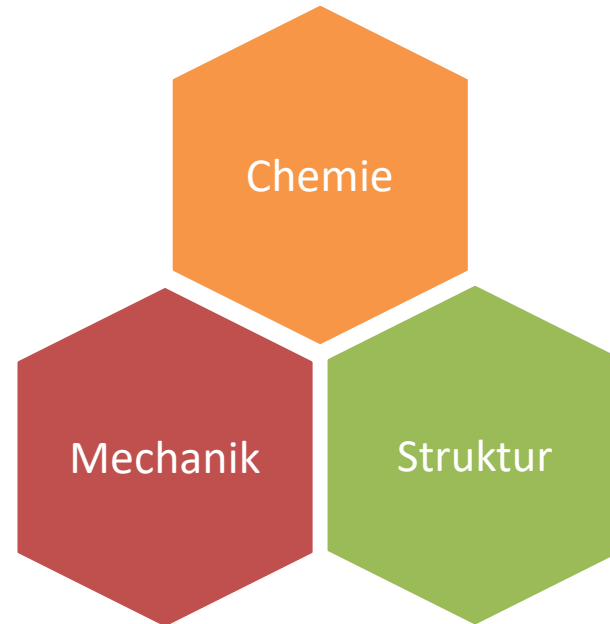
### Verdichtete Asphaltprobekörper



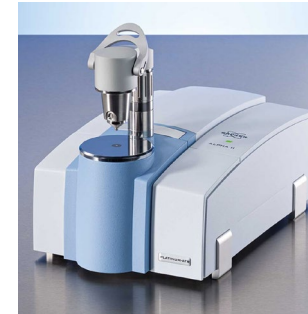
# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## Interdisziplinäre Materialanalyse

Dynamischer Scherrheometer

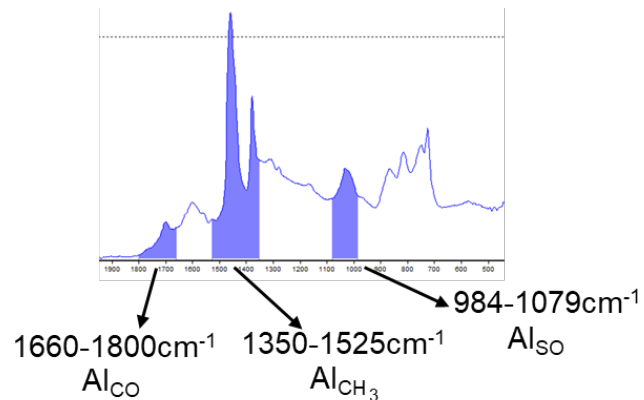
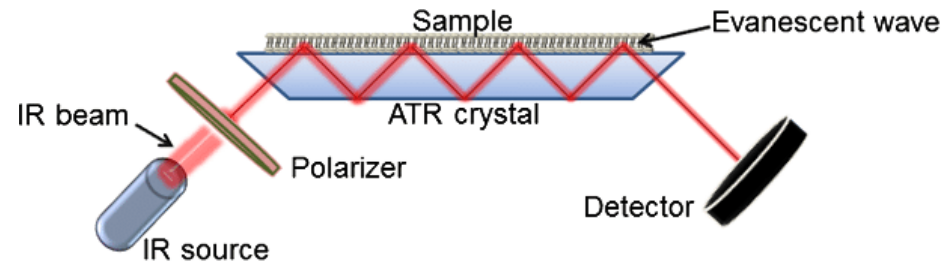


Infrarot-Spektrometer



# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## Infrarot-Spektroskopie (ATR-FTIR)



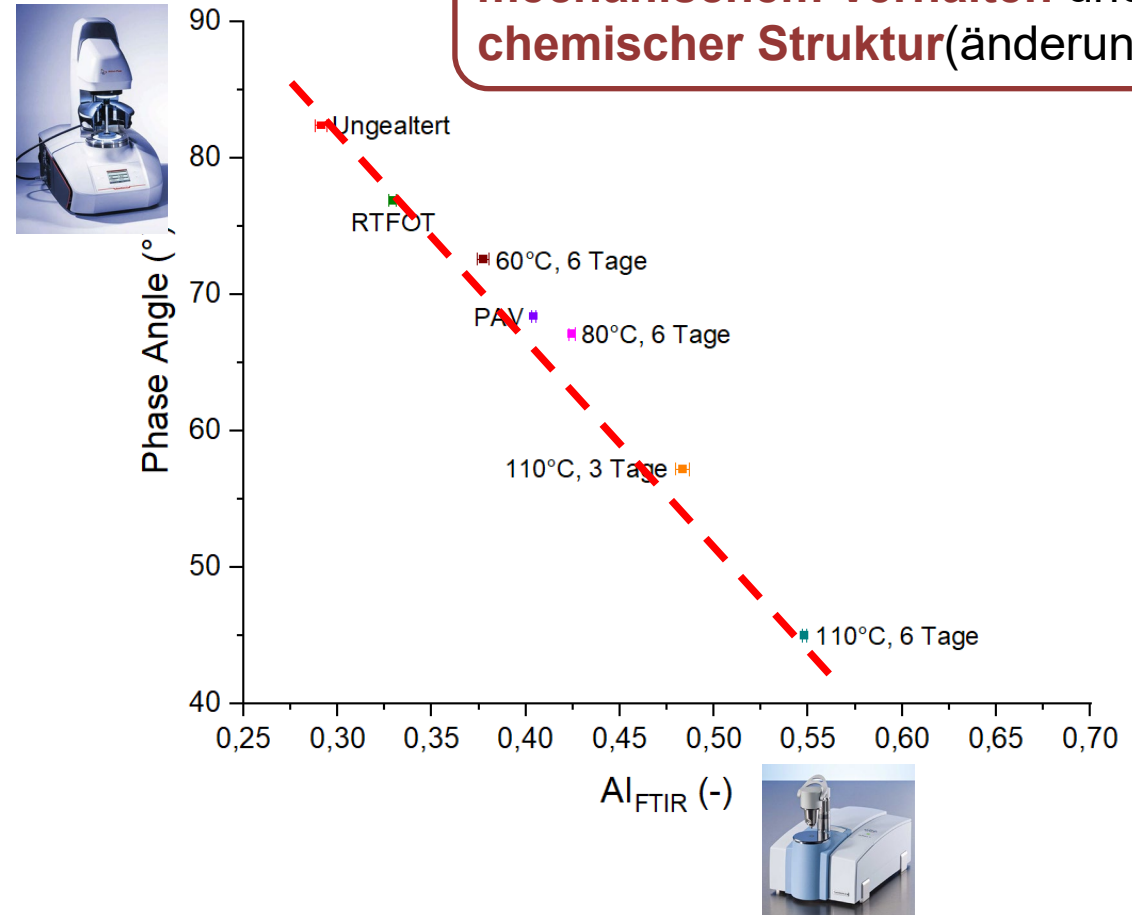
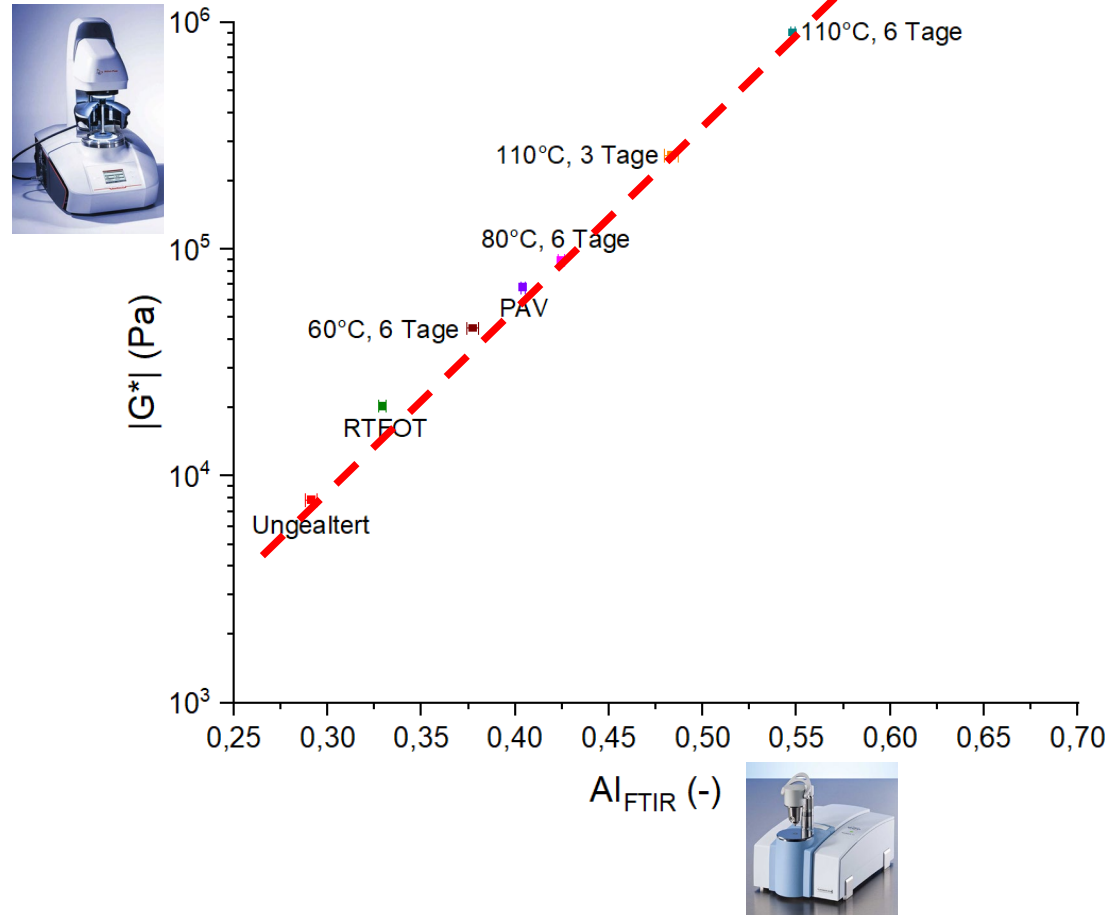
$$AI_{FTIR} = \frac{AI_{CO} + AI_{SO}}{AI_{CH_3}}$$

**Infrarot-Spektroskopie** für Bitumen  
→ Sauerstoffaufnahme (**Maß für Oxidation**)

# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## Zusammenhang zwischen chemischem Aufbau und mechanischem Verhalten

### Alterung | Bitumenfilme | Luft



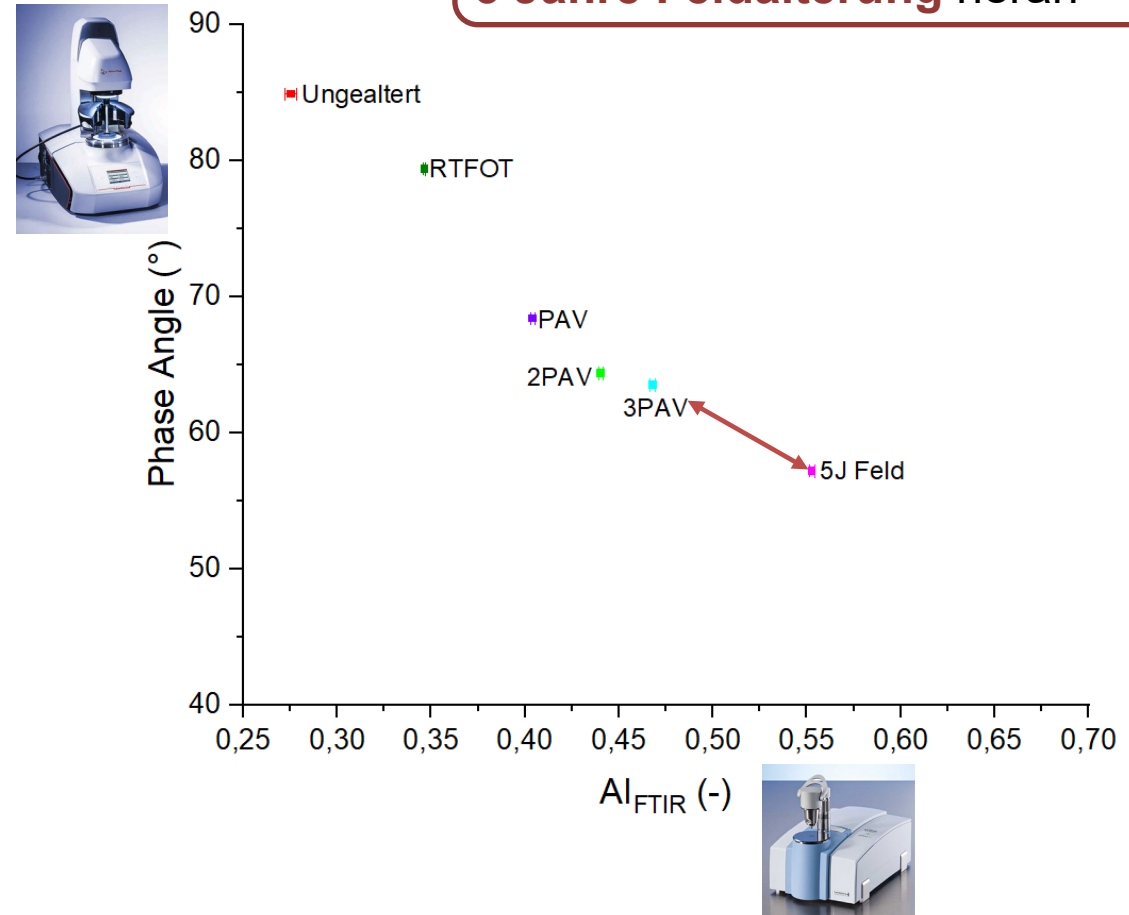
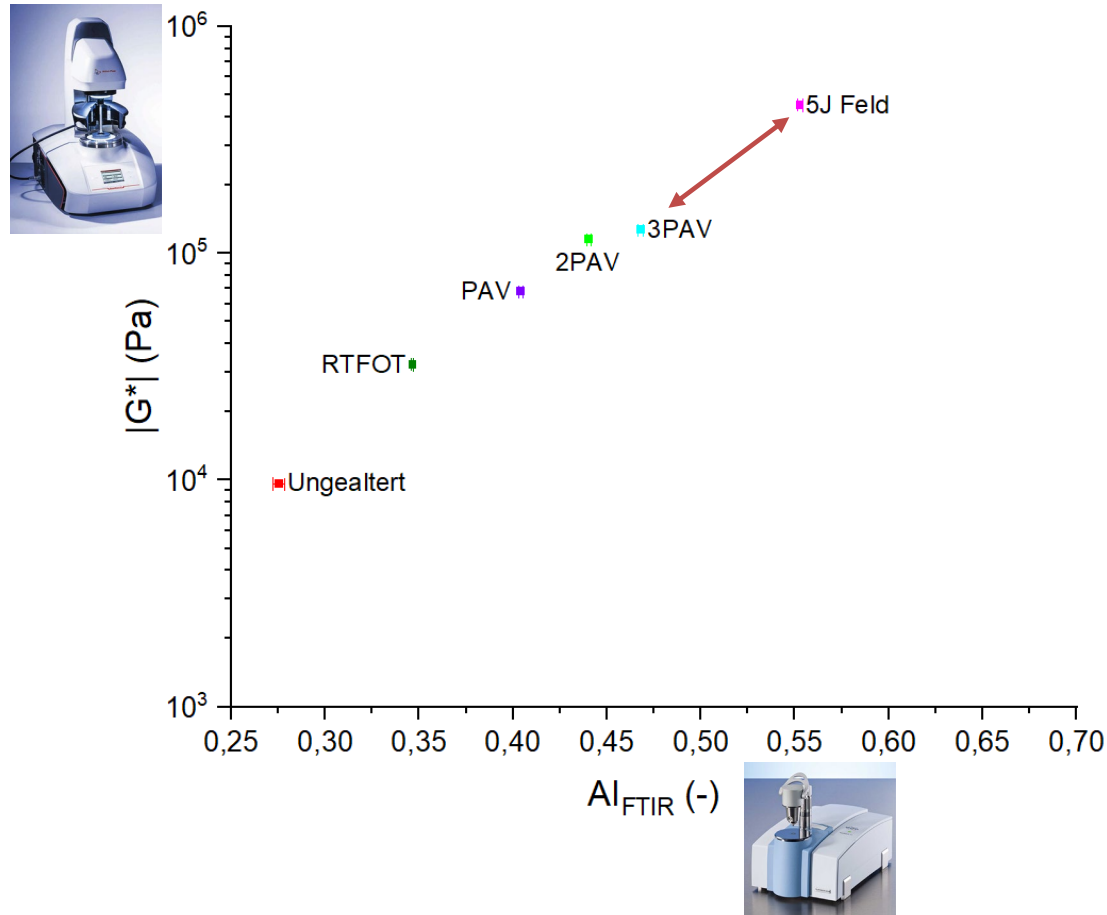
Linearer Zusammenhang zwischen **mechanischem Verhalten** und **chemischer Struktur(änderung)**

# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## Zusammenhang zwischen chemischem Aufbau und mechanischem Verhalten

### Standardalterung **x-fach PAV** vs. **Feld**

**Auch 3-facher PAV reicht nicht an 5 Jahre Feldalterung heran**



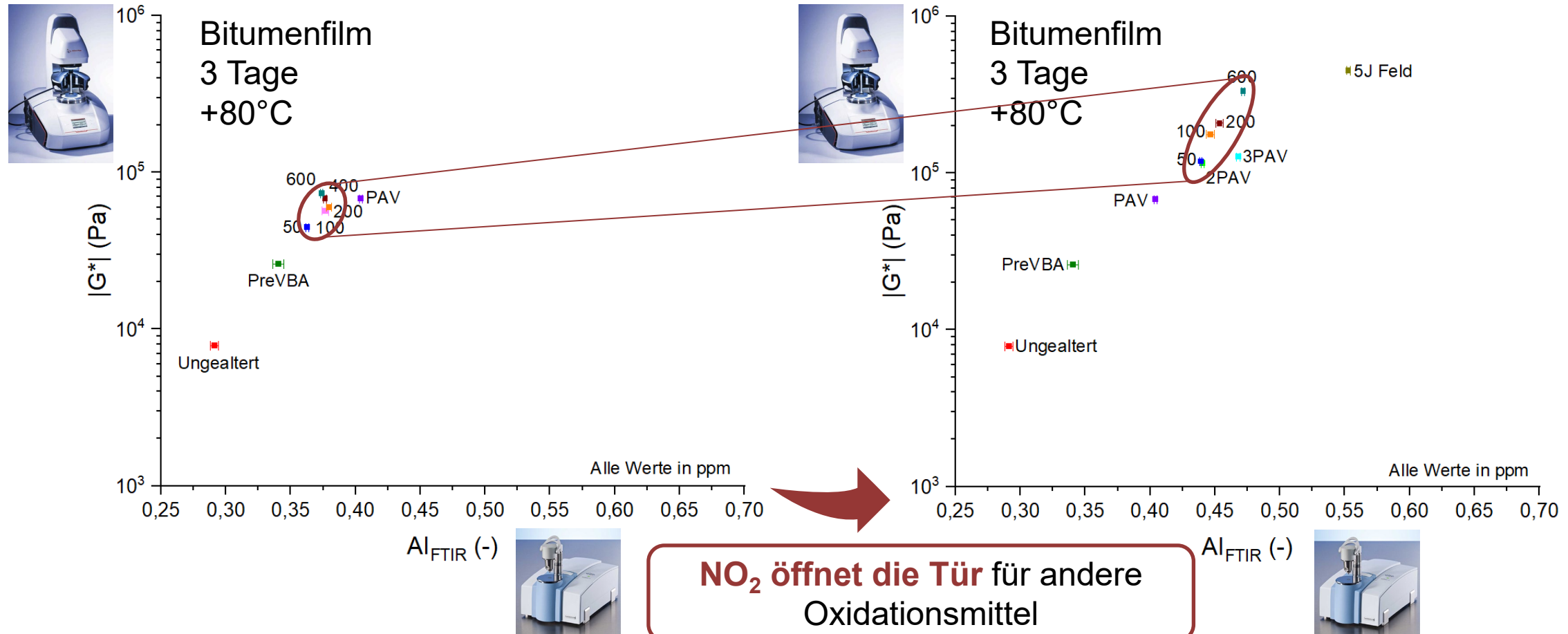


# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## Zusammenhang zwischen chemischem Aufbau und mechanischem Verhalten

Alterungspotential von reinem  $\text{NO}_2$  (in  $\text{N}_2$ )

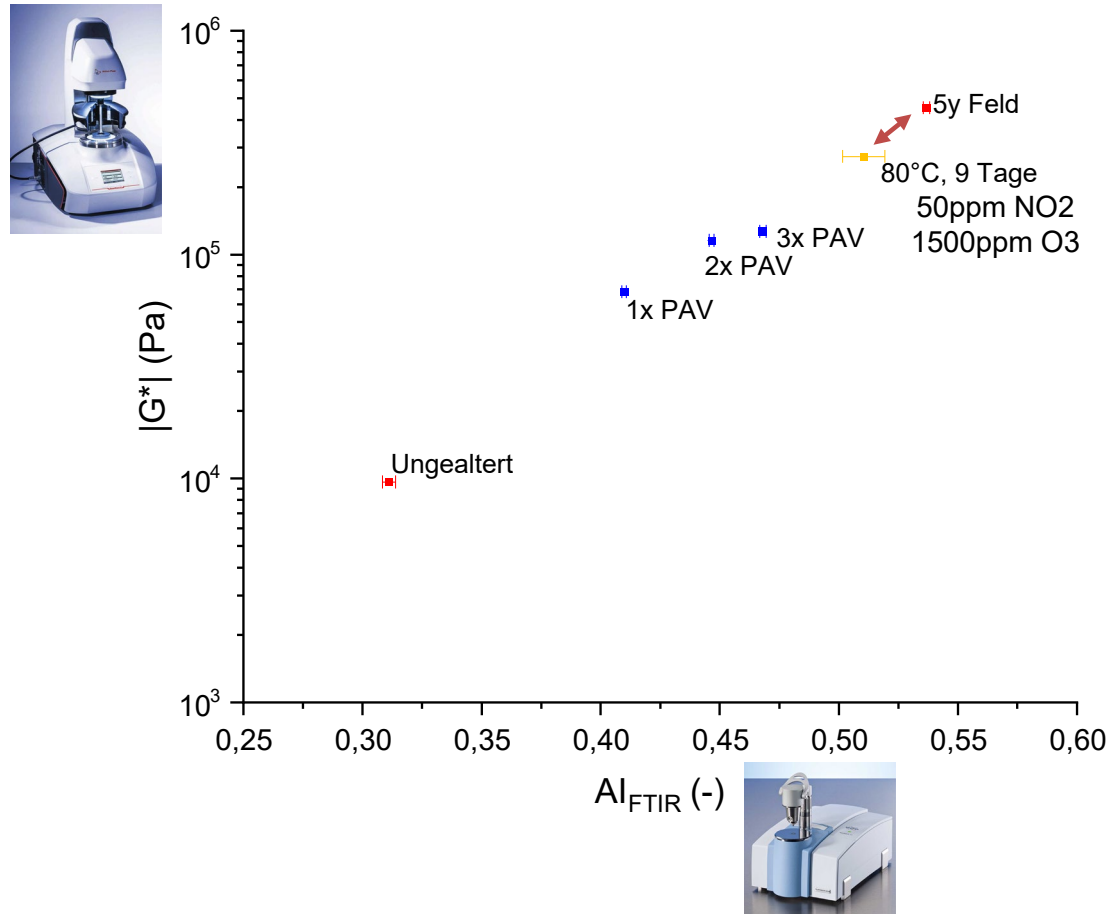
Alterungspotential von  $\text{NO}_2$  (in Luft)



# Neue Ansätze – effiziente und realitätsnahe Alterungssimulation

## Zusammenhang zwischen chemischem Aufbau und mechanischem Verhalten

Alterungspotential von ROS ( $O_3 + NO_2$ ) in Luft = VBA



**Kombination von Ozon und Stickoxiden** in Luft erreicht die Feldalterung und ist nahezu beliebig skalierbar

# Jungbrunnen in Sicht?

## Rejuvenierung

Umkehr von Alterungsprozessen  
= Jungbrunnen

Alterung  $\approx$  Oxidation

→ Rejuvenierung  $\approx$  Reduktion

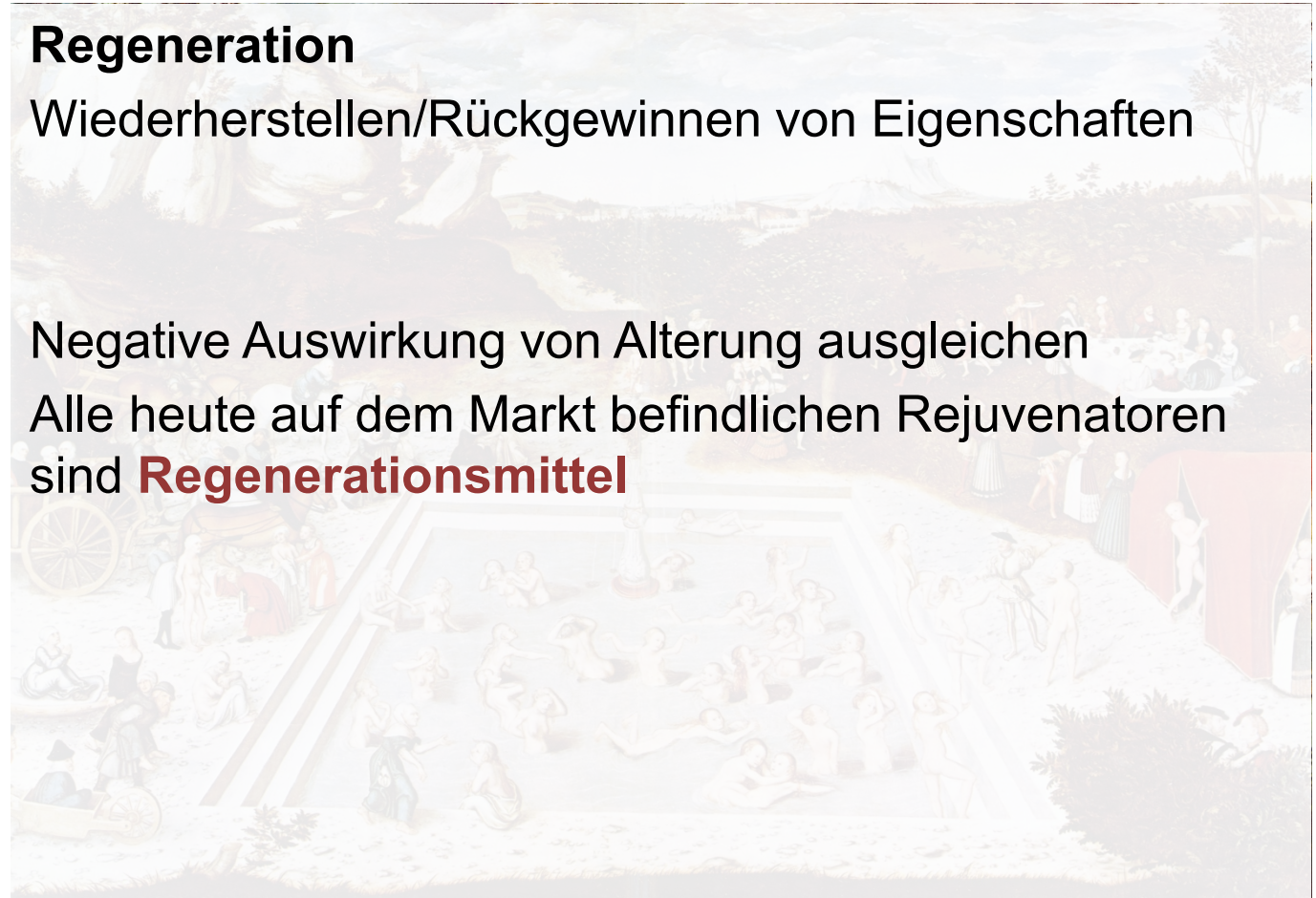
- **Hoher Energieeinsatz** nötig
- Auf Labormaßstab möglich
- Großtechnisch (derzeit)  
**nicht nachhaltig umsetzbar**

## Regeneration

Wiederherstellen/Rückgewinnen von Eigenschaften

Negative Auswirkung von Alterung ausgleichen

Alle heute auf dem Markt befindlichen Rejuvenatoren  
sind **Regenerationsmittel**



# Jungbrunnen in Sicht?

## Maßnahmen im Rahmen der Planung, Ausführung und Erhaltung

### Maßnahmen für alterungsbeständige Asphaltstraßen

- **Bitumengehalt** nicht bis zum Minimum ausreizen
  - höhere Bindemittelfilmdicke = mehr Oxidationsaufwand
- **Hochwertige** Bindemittel
  - Langzeitalterung in die Spezifikationen (CEN!)
- Polymermodifizierte Bindemittel (**SBS**) wirken alterungshemmend
- Schonende Asphaltproduktion
  - **Temperaturabsenkung**
- **Rückstellproben** von Bitumen
  - Datenbank zur Bitumenentwicklung
  - Entwicklung Alterungszustand (Zustandserfassung)
- Umfassende **Dokumentation** eingebauter Mischgüter
  - Recyclinganteil
  - „Rejuvenator“, ...
- Grundanforderungen an „**Rejuvenatoren**“ festlegen
  - Flammpunkt
  - Alterungsbeständigkeit
  - Viskosität
  - Arbeitssicherheit

# Zusammenfassung

## Take Home Messages

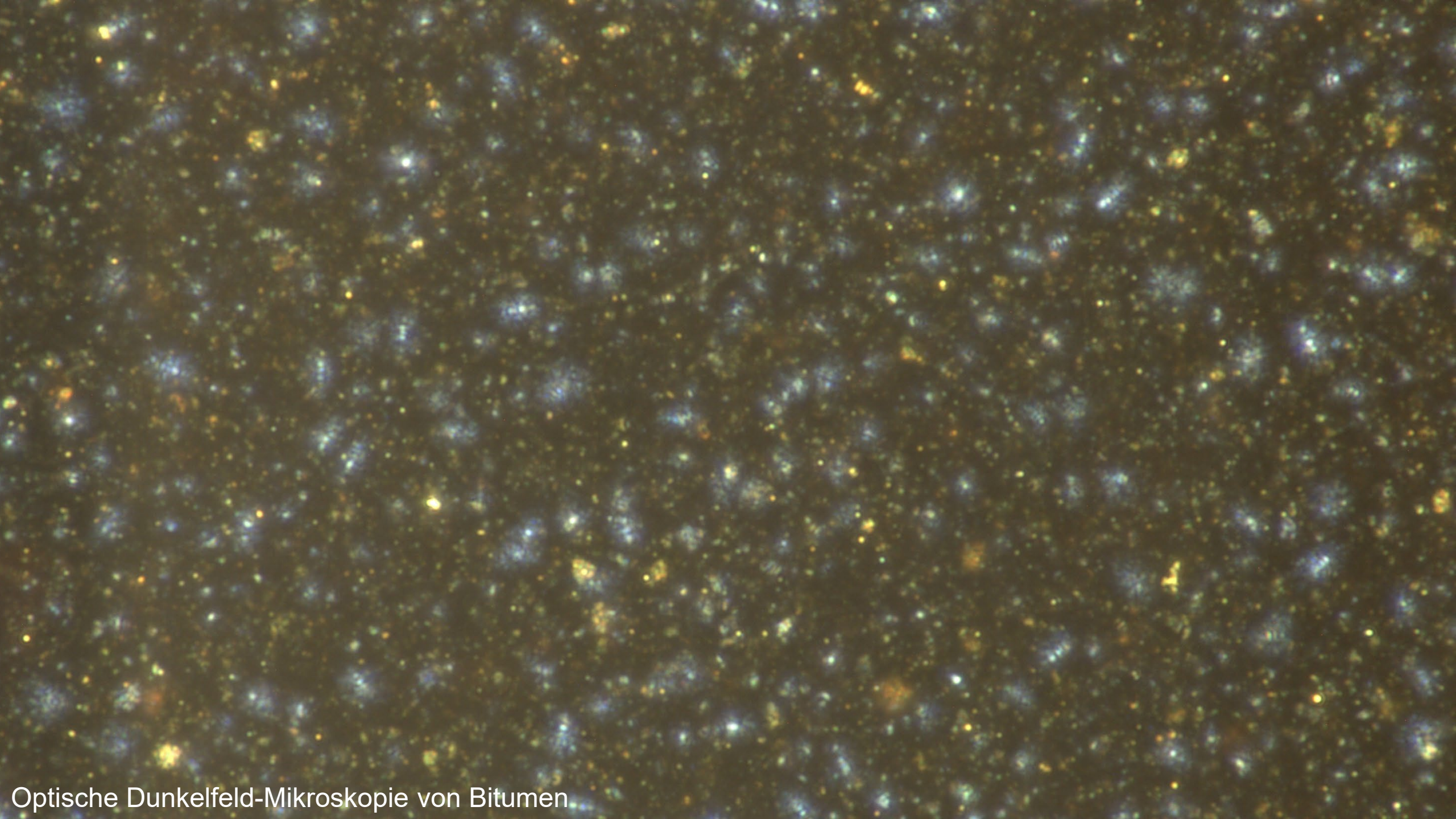
Bitumenalterung: wesentlicher Einfluss auf  
Erhaltungsaufwand, Lebensdauer & Rezyklierbarkeit

Feldalterung: komplexer Prozess mit vielen Einflussfaktoren, mit standardisierten  
Alterungsmethoden nicht ausreichend simulierbar

Neue Ansätze zur Alterungssimulation: ermöglicht notwendige Anpassungen,  
effiziente & realitätsnahe Alterung von Bitumen, losem Mischgut & verdichteten Asphaltproben

Infrarot-Spektroskopie: rasche und einfache Charakterisierung des Alterungszustands &  
Korrelation zum mechanischen Verhalten

Einfach umzusetzende Maßnahmen während Planung, Ausführung und Erhaltung  
tragen dazu bei, dass Asphaltstraßen lange jung bleiben



Optische Dunkelfeld-Mikroskopie von Bitumen