

---

# Vergleichende Untersuchung zum Kriechverhalten von Mineralguss, Naturhartgestein und Nanodur-Beton

---



Maschinenbauteile und Elemente aus  
Ultra High Performance Concrete UHPC

Abschlussbericht

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher  
Dr.-Ing. Marcel Fey

Aachen, 29.11.2017

# Inhalt

---

## **1 Ausgangssituation, Vorgehen und Zielsetzung**

## **2 Versuchsaufbau**

## **3 Versuchsbedingungen**

## **4 Untersuchungsergebnisse**

## **5 Zusammenfassung**

## Überblick

---

### Ausgangssituation

Die Firma durcrete GmbH stellt Maschinenbauteile und Elemente aus Hochleistungsbeton „Ultra High Performance Concrete“ her. Wesentlicher Bestandteil der Materialentwicklung ist die Durchführung von Untersuchungen an Materialproben. Zur Bestimmung der Materialeigenschaften des Betons werden unter anderem Kriechversuche durchgeführt.

### Zielsetzung

Es werden vergleichende Untersuchungen zum Kriechverhalten an sechs Proben durchgeführt. Unter „Kriechen“ wird hier eine plastische, zeitabhängige Verformung unter Last verstanden. Ziel ist es, die Durchbiegung aufgrund von Kriechen über der Zeit mittels geeigneter Messtechnik aufzunehmen und die Messwerte für einen Vergleich aufzubereiten. Folgende Proben werden untersucht:

- 2 x Nanodur ohne WB
- 2 x Nanodur mit WB
- 1 x Naturhartgestein
- 1 x Polymerbeton

### Vorgehen

Zum Erreichen des definierten Ziels werden folgende Arbeitspunkte durchgeführt:

- Konstruktion, Fertigung und Inbetriebnahme von zwei Prüfständen
- Versuchsdurchführung
- Dokumentation

# Inhalt

---

**1 Ausgangssituation, Vorgehen und Zielsetzung**

**2 Versuchsaufbau**

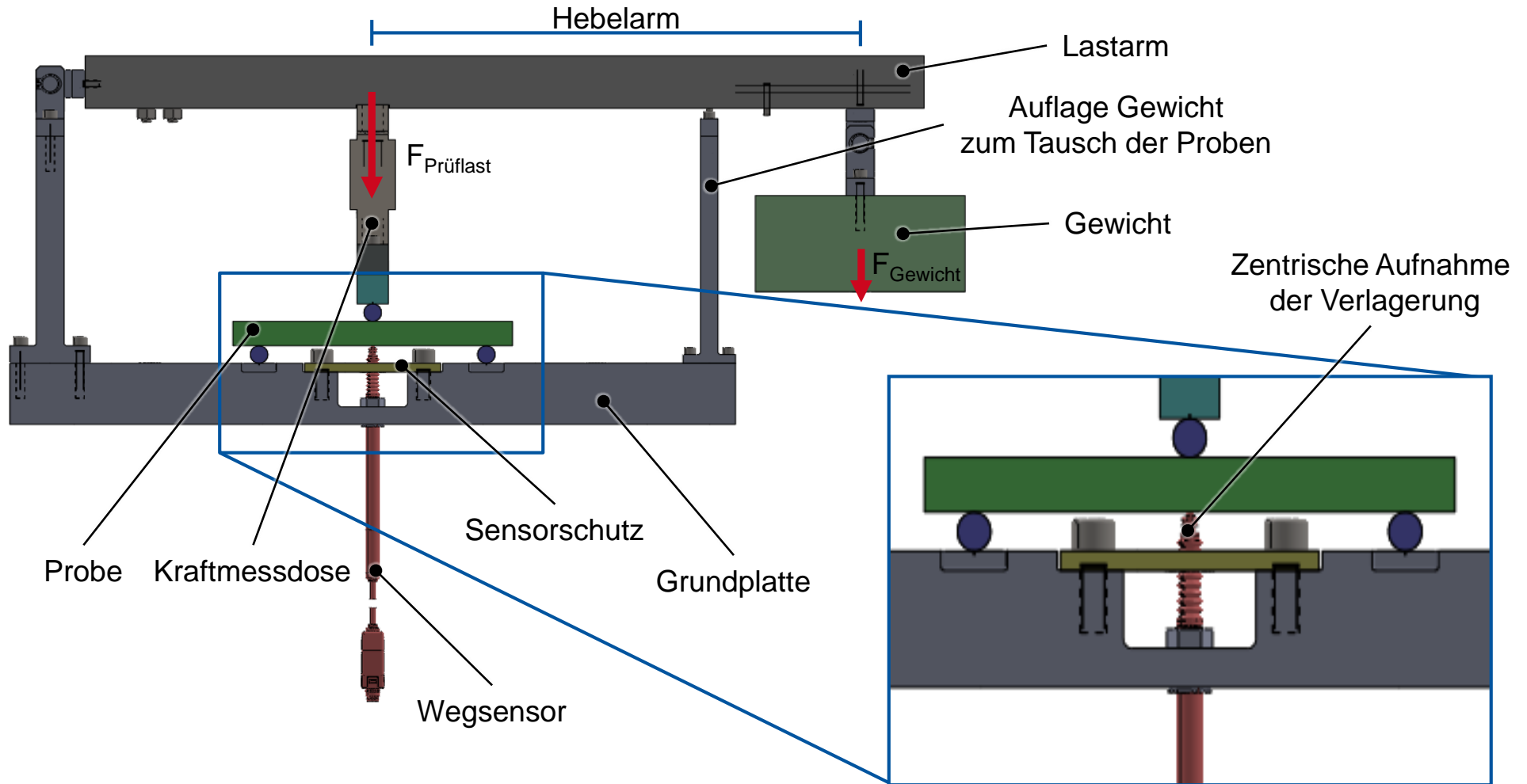
**3 Versuchsbedingungen**

**4 Untersuchungsergebnisse**

**5 Zusammenfassung**

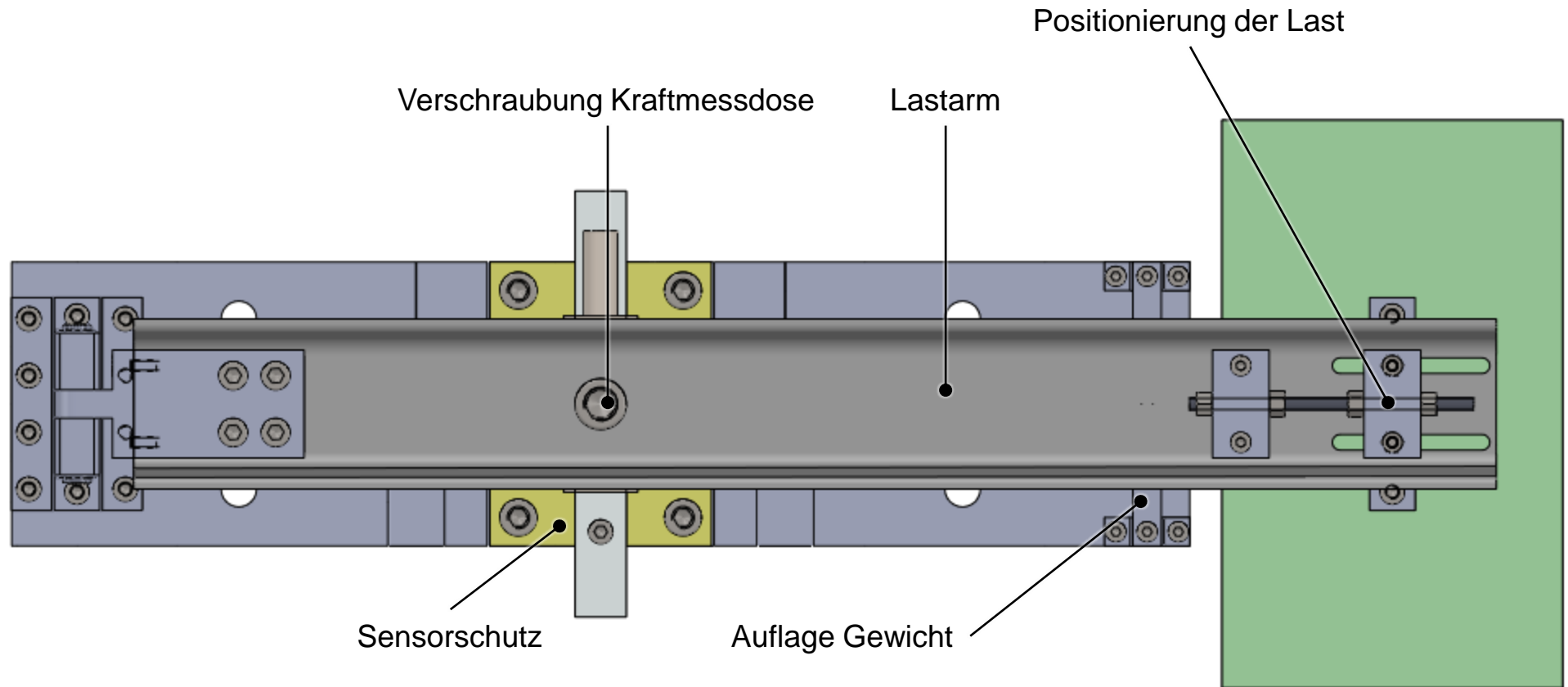
# Versuchsaufbau

## Prüfstand Seitenansicht



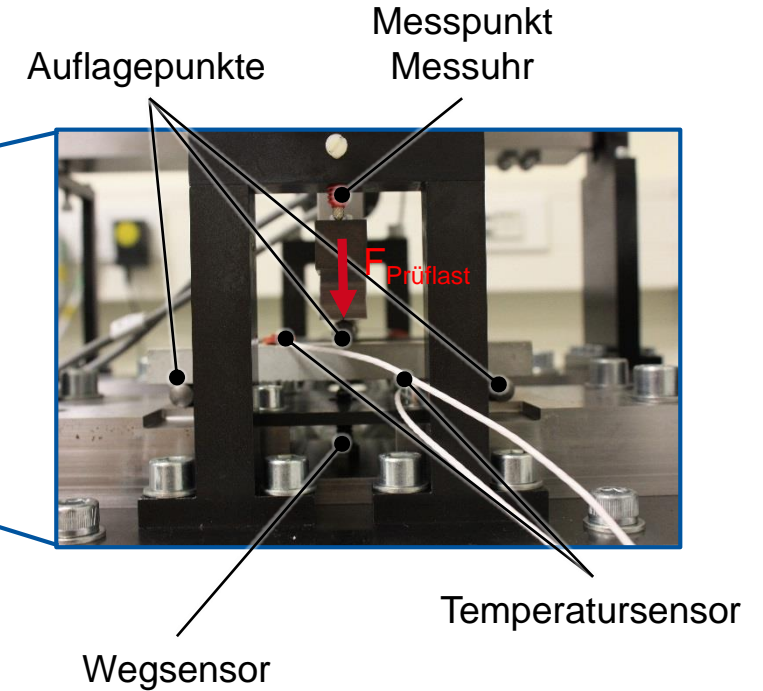
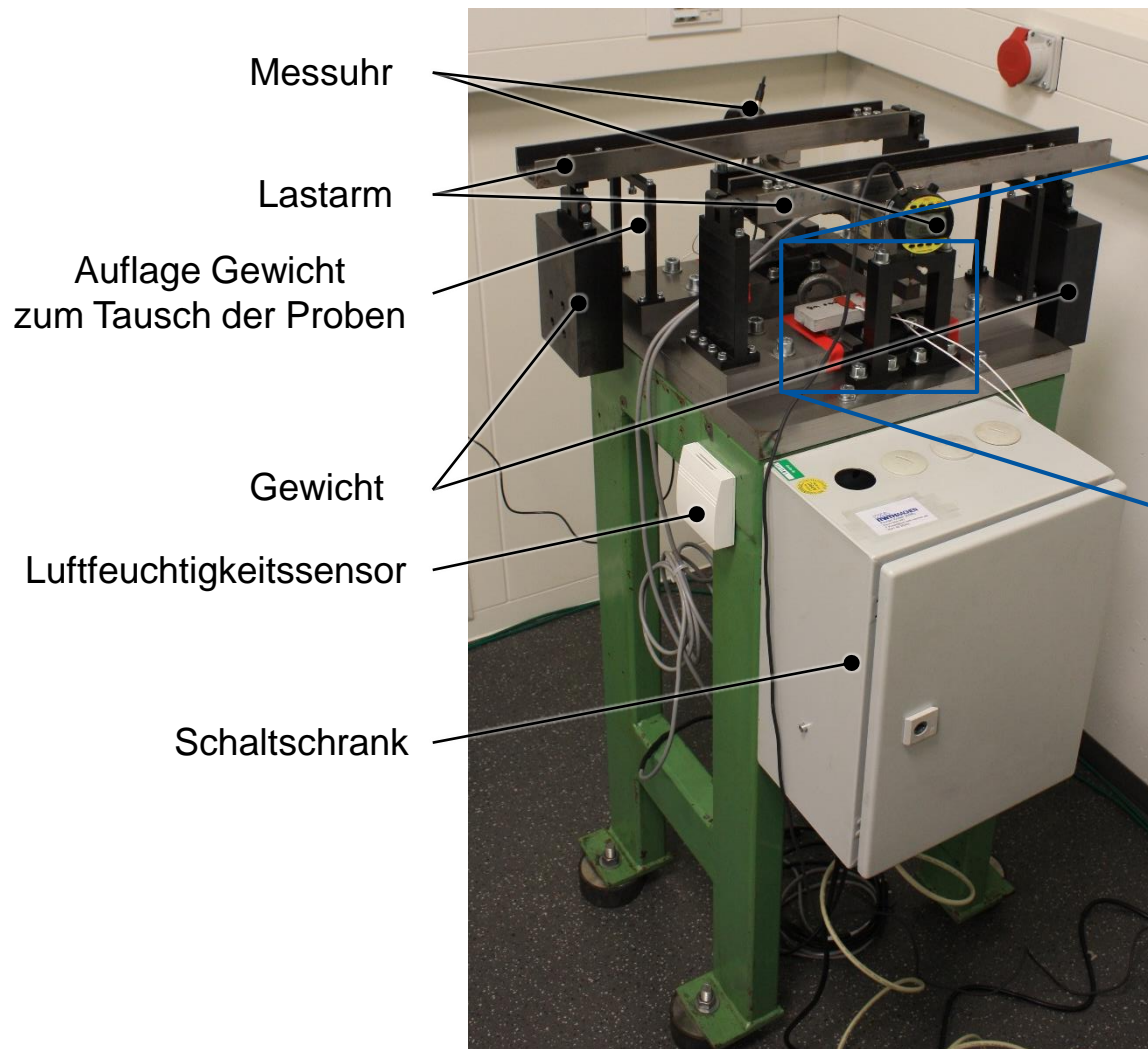
# Versuchsaufbau

## Prüfstand Draufsicht

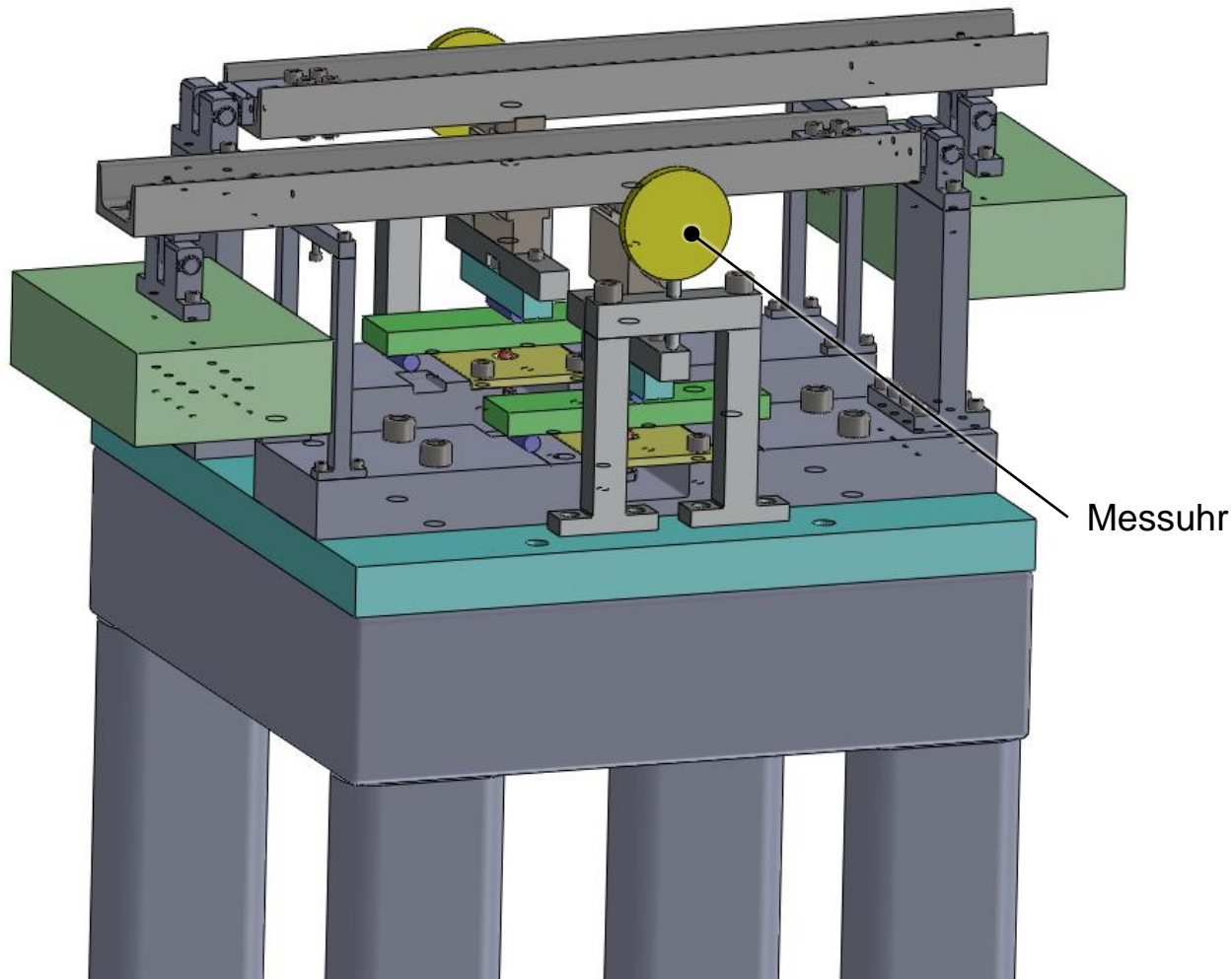


# Versuchsaufbau

## Gesamtübersicht Prüfstand



## Gesamtübersicht Prüfstand



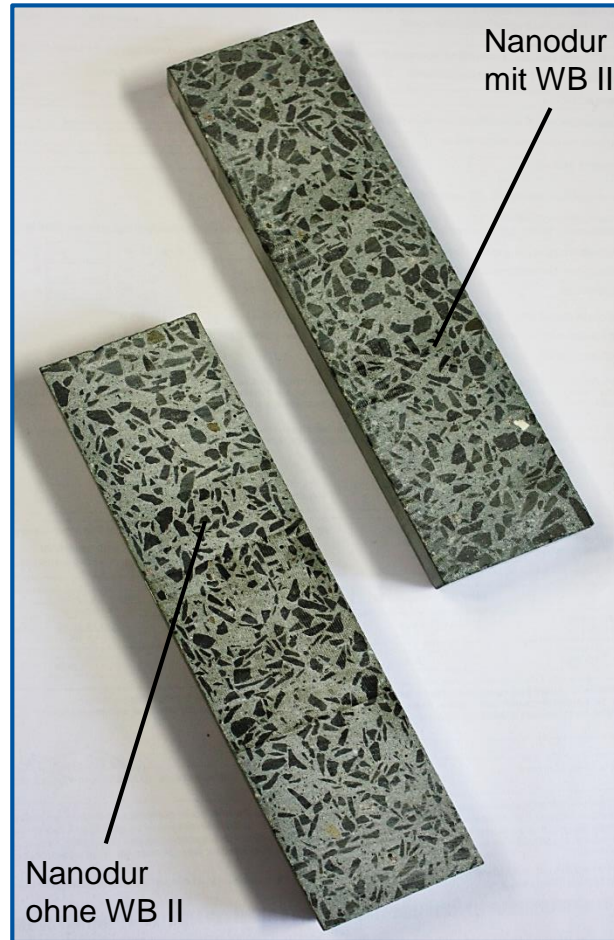
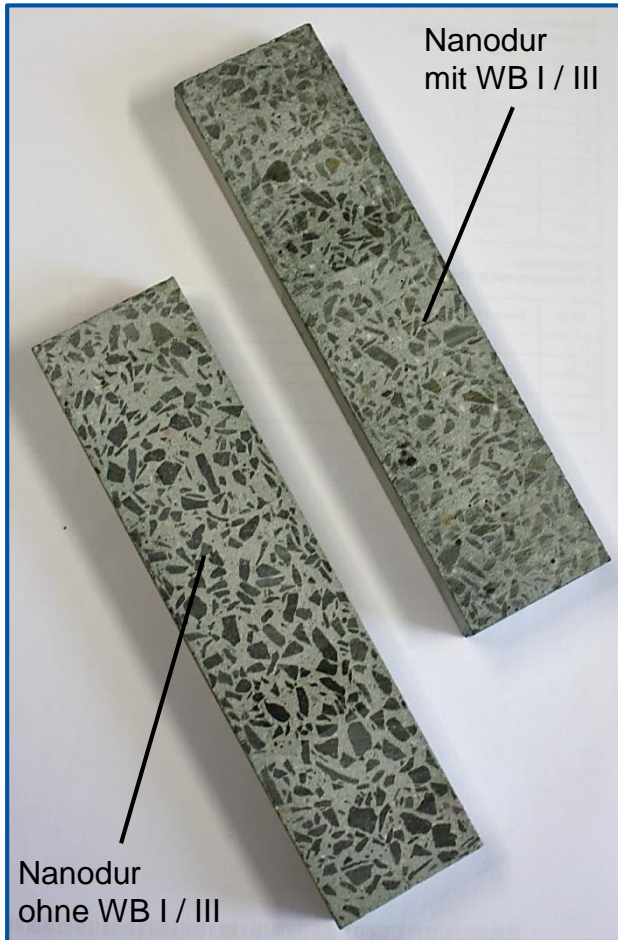
- Inbetriebnahme von zwei baugleichen Prüfständen
- Montage auf einem Tisch
- Lastaufbringung mithilfe eines konstanten Gewichts
- Messung der Last mittels einer Kraftmessdose über die gesamte Versuchsdauer
- Messung der Temperatur mittels Temperatursensoren ober- und unterhalb der Proben
- Messung der Verlagerung mittels taktilen Sensor unterhalb der Probe sowie einer digitalen Messuhr
- Aufzeichnung der Luftfeuchtigkeit über die komplette Versuchsdauer



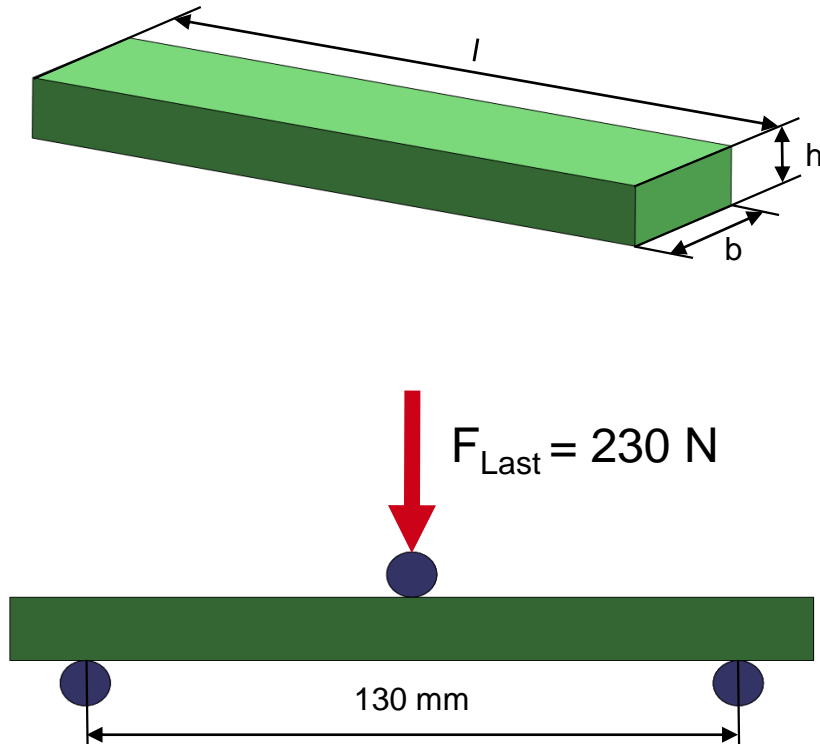
# Versuchsaufbau

## Proben

### Proben



### Abmessung der Probe und Spannungsverteilung



| Probe                   | l/b/h [mm]  | $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|-------------|-------------------------------|
| Nanodur ohne WB I / III | 160/40/14,6 | 5,26                          |
| Nanodur mit WB I / III  | 160/40/15,1 | 4,92                          |
| Nanodur ohne WB II      | 160/40/15   | 4,98                          |
| Nanodur mit WB II       | 160/40/14,9 | 5,05                          |
| Naturhartgestein        | 160/40/14,8 | 5,12                          |
| Polymerbeton            | 160/40/14,9 | 5,05                          |

### Verwendung von zwei redundanten Messsystemen

#### Keyence

- GT2-P12K
- Linearer Glasmaßstab
- Messbereich 12 mm
- Auflösung 0,1  $\mu\text{m}$
- Anzeigegenauigkeit 1  $\mu\text{m}$
- Aufzeichnung der Messwerte über gesamte Versuchsdauer



#### Mahr

- Millimess 2001
- Wegmessung Messuhr
- Messbereich 1,8 mm
- Auflösung 0,5  $\mu\text{m}$
- Anzeigegenauigkeit 0,6  $\mu\text{m}$
- Kontrollmessung ohne Aufzeichnung



# Inhalt

---

**1 Ausgangssituation, Vorgehen und Zielsetzung**

**2 Versuchsaufbau**

**3 Versuchsbedingungen**

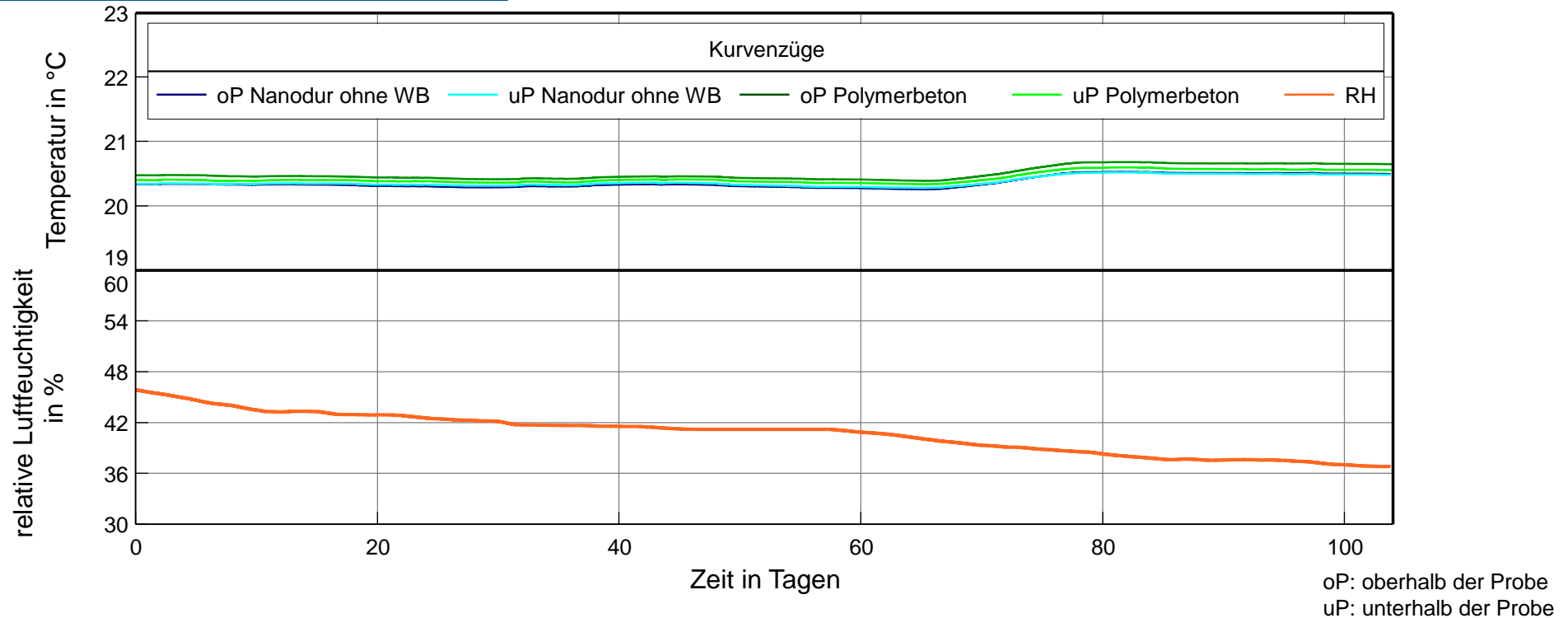
**4 Untersuchungsergebnisse**

**5 Zusammenfassung**

## Polymerbeton / Nanodur ohne WB I\*

- Konstante Raumtemperatur von ca.  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Konstante Belastung 230 N
- Konstante Luftfeuchtigkeit  $\pm 5\%$
- Versuchsdauer min. 90 Tage

### Messschrieb Temperatur und Luftfeuchtigkeit

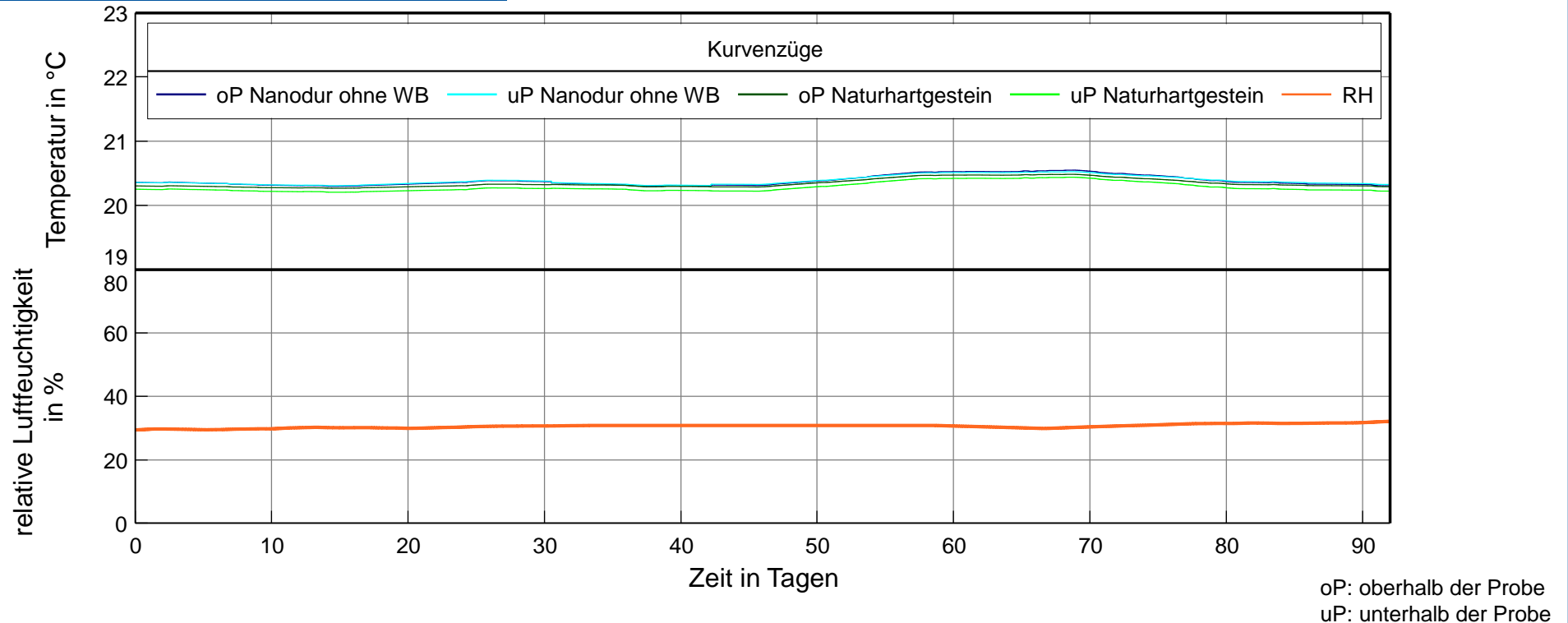


\*Nanodur ohne WB I lieferte innerhalb dieser Messung keine verwertbaren Ergebnisse und taucht daher nachfolgend nicht mehr auf.

## Naturhartgestein / Nanodur mit WB I

- Konstante Raumtemperatur von ca. 20°C ±1°C
- Konstante Belastung 230 N
- Konstante Luftfeuchtigkeit ± 5%
- Versuchsdauer min. 90 Tage

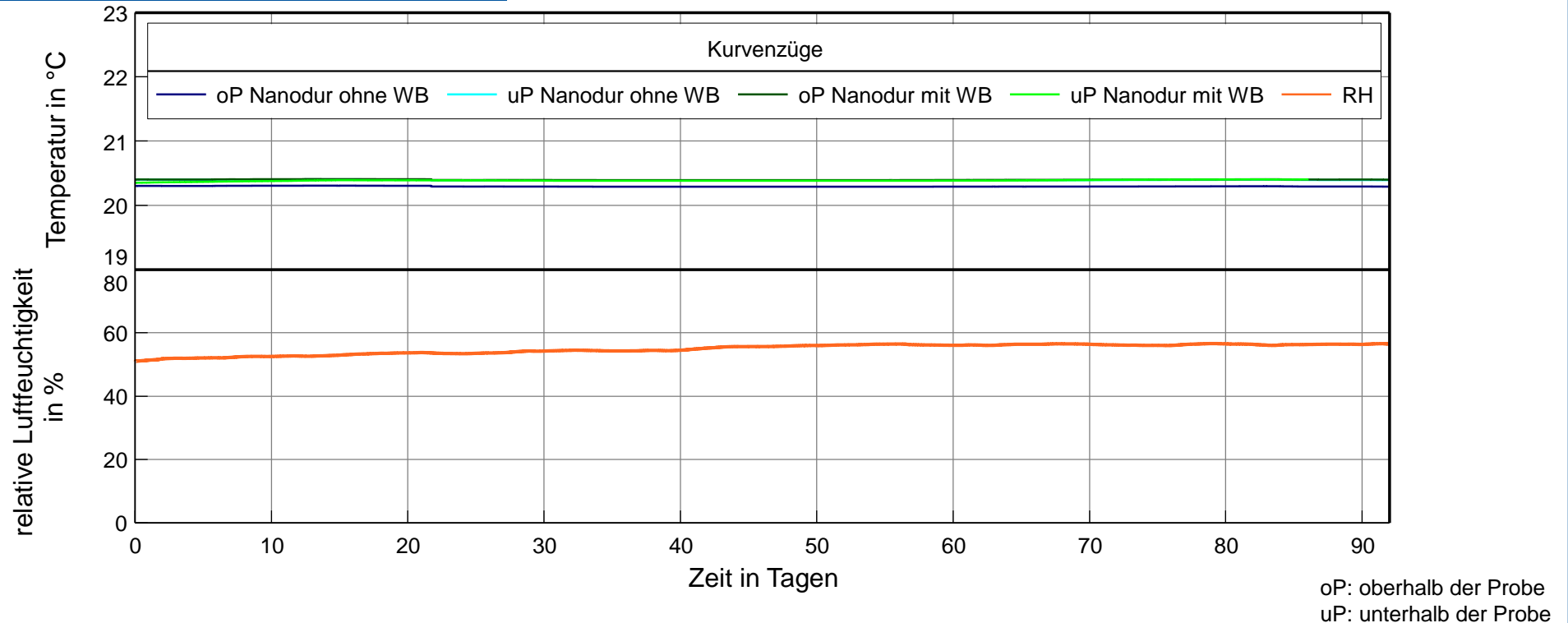
### Messschrieb Temperatur und Luftfeuchtigkeit



## Nanodur mit WB II / Nanodur ohne WB II

- Konstante Raumtemperatur von ca. 20°C ±1°C
- Konstante Belastung 230 N
- Konstante Luftfeuchtigkeit ± 5%
- Versuchsdauer min. 90 Tage

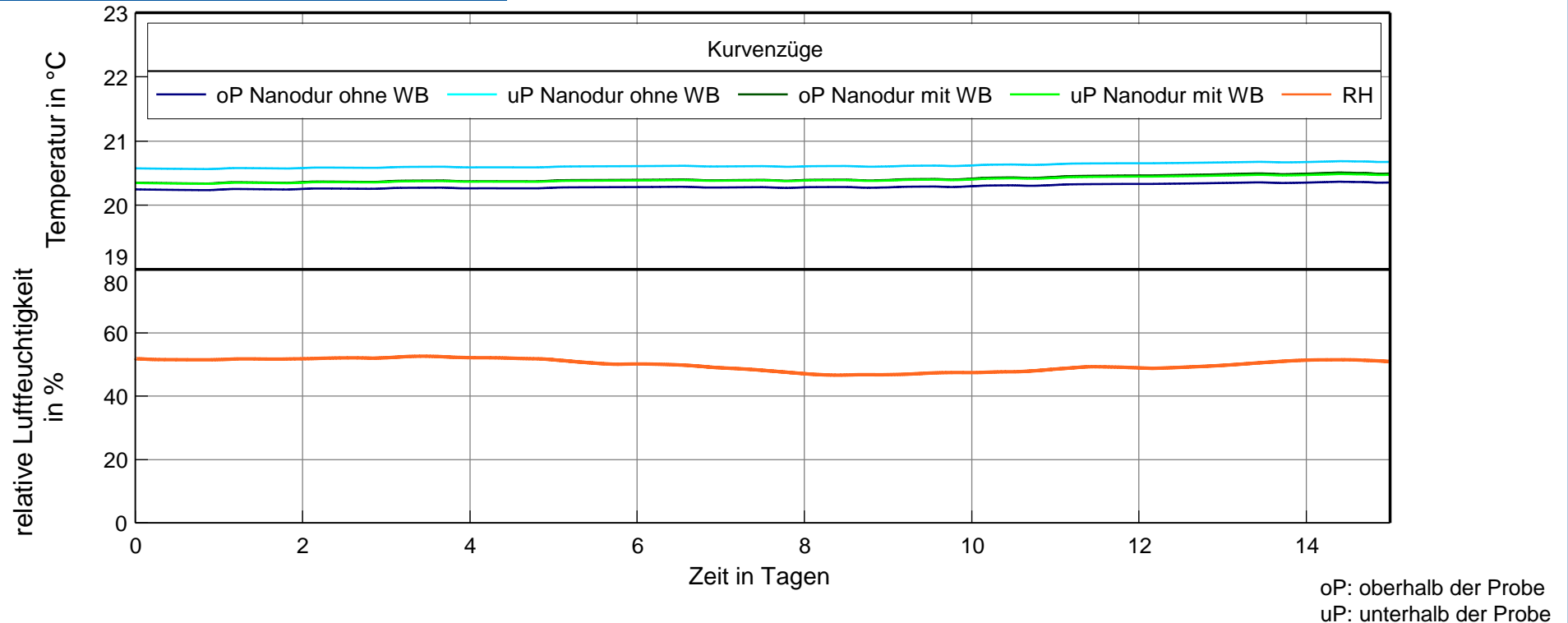
### Messschrieb Temperatur und Luftfeuchtigkeit



## Nanodur mit WB III / Nanodur ohne WB III

- Konstante Raumtemperatur von ca.  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Konstante Belastung 230 N
- Konstante Luftfeuchtigkeit  $\pm 5\%$
- Versuchsdauer min. 14 Tage

### Messschrieb Temperatur und Luftfeuchtigkeit





# Inhalt

---

**1 Ausgangssituation, Vorgehen und Zielsetzung**

**2 Versuchsaufbau**

**3 Versuchsbedingungen**

**4 Untersuchungsergebnisse**

**5 Zusammenfassung**

## Detailauswertung Messung: Polymerbeton

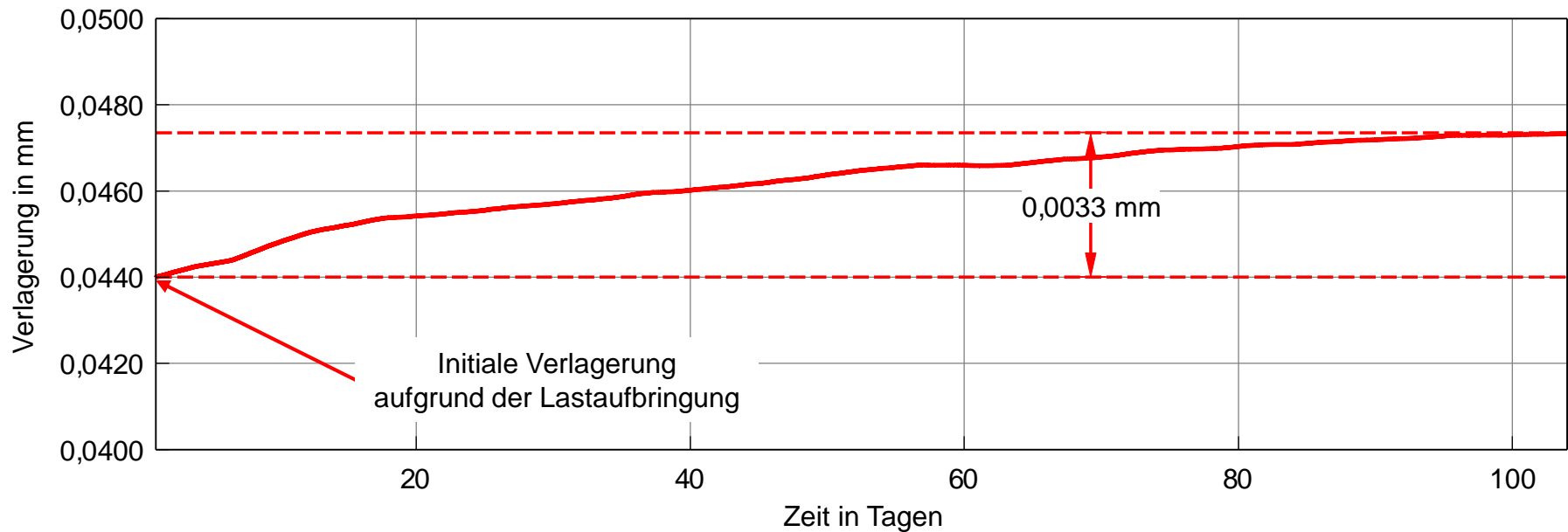
### Versuchsablauf

- Versuchslauf vom 06.09.- 20.12.2016
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 900.000 Messwerte über 104 Tage



Gemessene Durchbiegung ca. 3  $\mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr: 5  $\mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor



## Detailauswertung Messung: Naturhartgestein

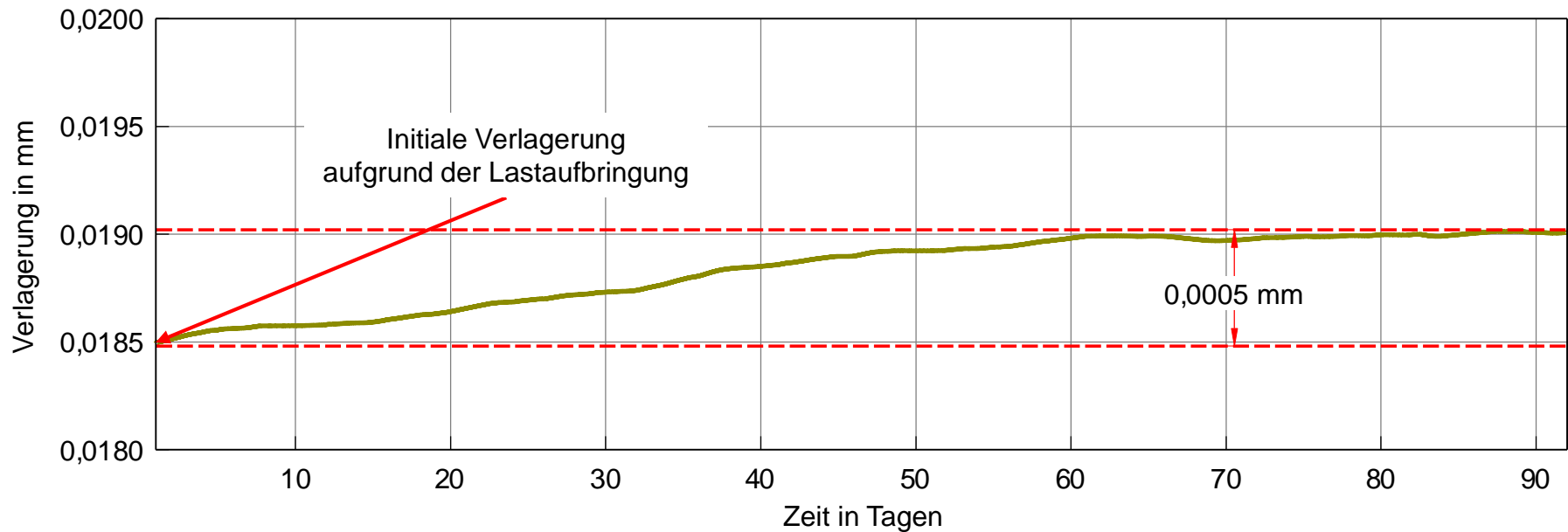
### Versuchsablauf

- Versuchslauf vom 10.01.-11.04.2017
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 800.000 Messwerte über 92 Tage



Gemessene Durchbiegung ca.  $0,5\ \mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr:  $1\ \mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor



## Detailauswertung Messung: Nanodur ohne WB I

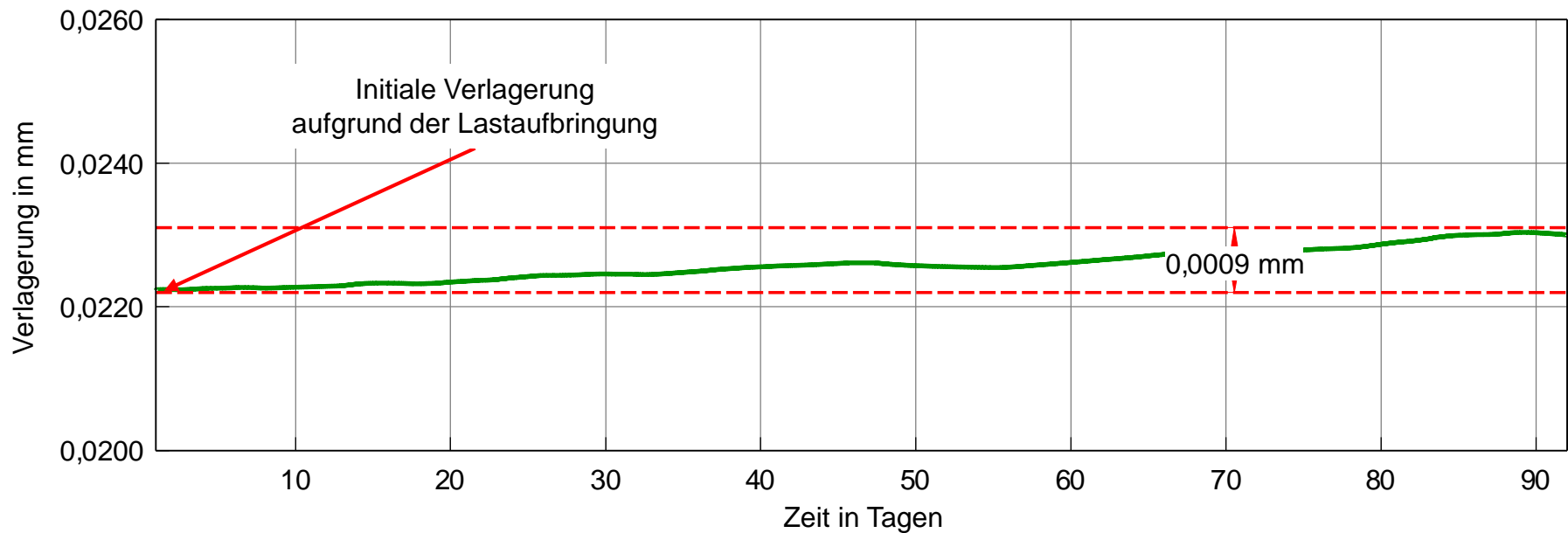
### Versuchsablauf

- Versuchslauf vom 10.01.-11.04.2017
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 800.000 Messwerte über 92 Tage



Gemessene Durchbiegung ca. 1  $\mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr: 1,5  $\mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor



## Detailauswertung Messung: Nanodur ohne WB II

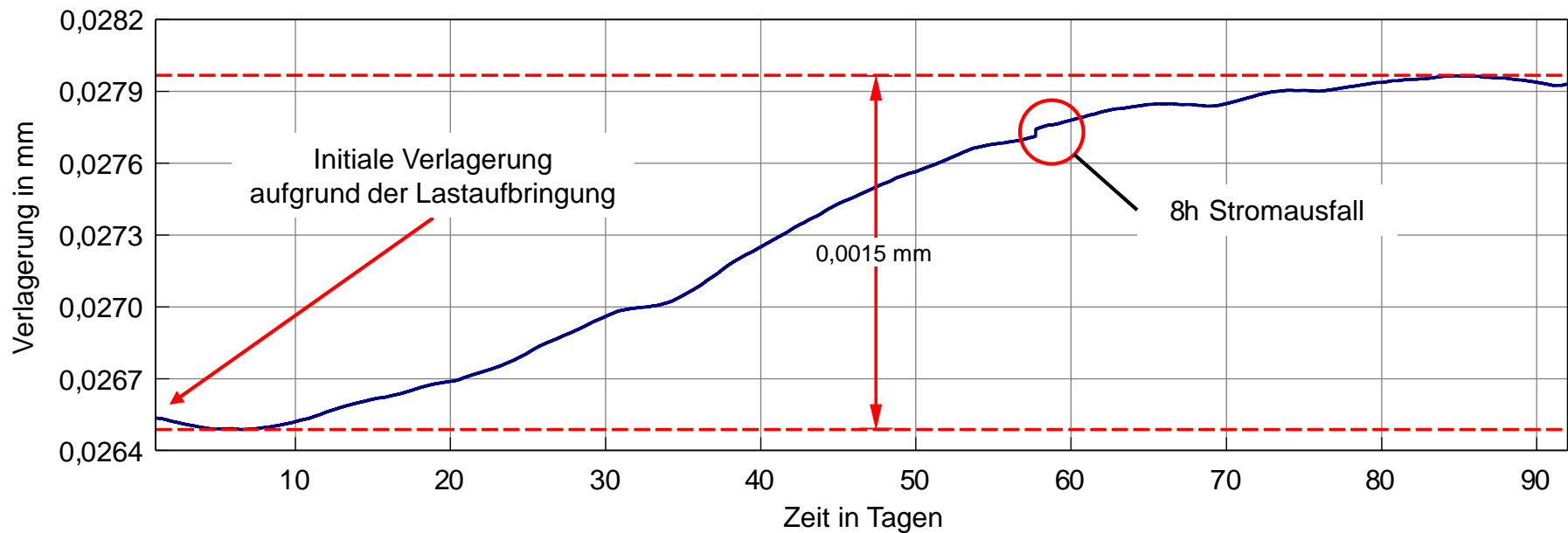
### Versuchsablauf

- Versuchslauf vom 25.05.- 25.08.2017
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 800.000 Messwerte über 92 Tage



Gemessene Durchbiegung ca. 1,5  $\mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr: 1  $\mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor



## Detailauswertung Messung: Nanodur mit WB II

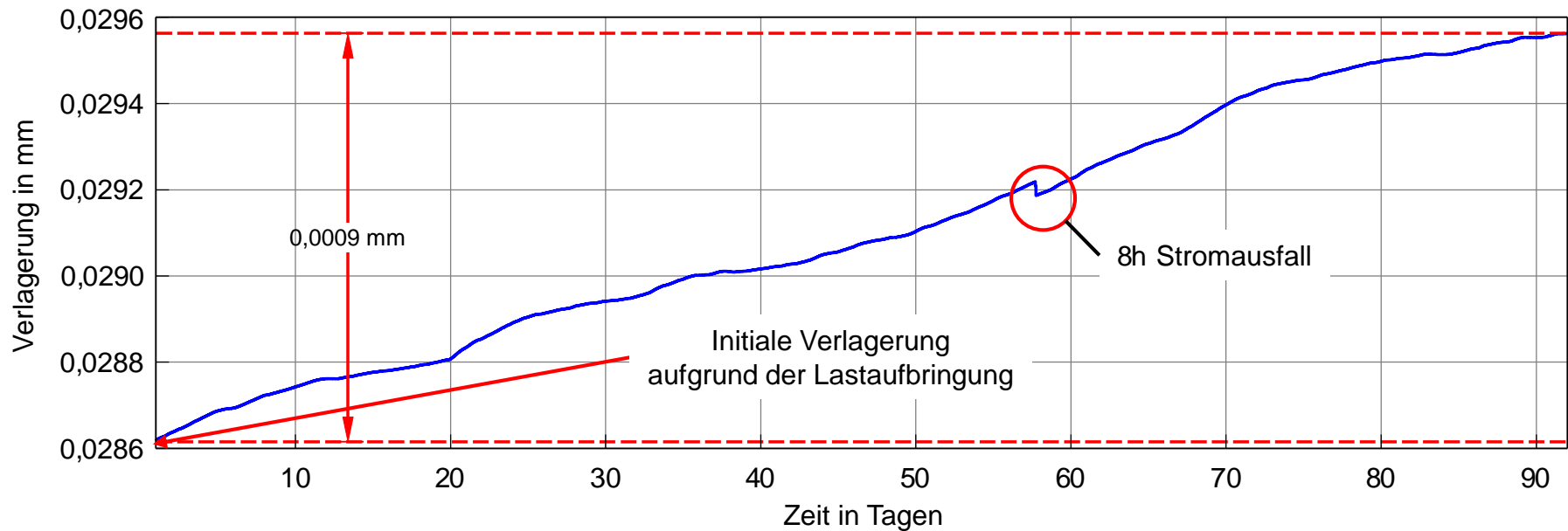
### Versuchsablauf

- Versuchslauf vom 25.05.- 25.08.2017
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 800.000 Messwerte über 92 Tage



Gemessene Durchbiegung ca. 0,9  $\mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr: 1  $\mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor



## Detailauswertung Kontrollmessung: Nanodur ohne WB III

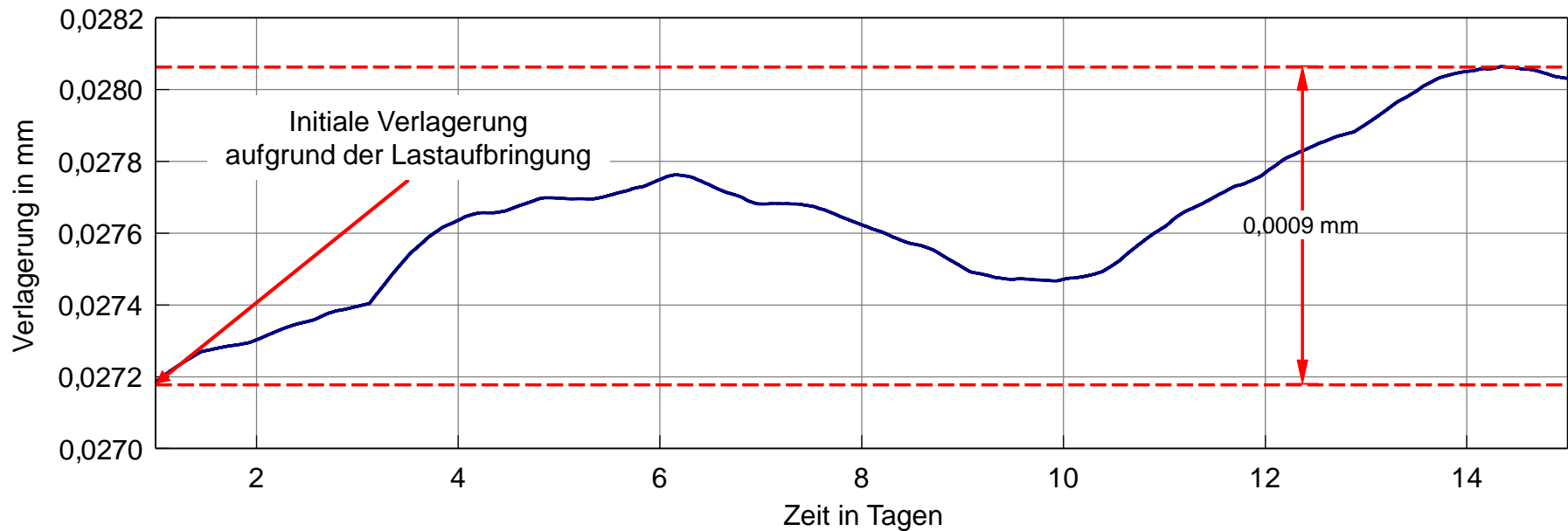
### Versuchsablauf

- 15-tägiger Versuchslauf
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 130.000 Messwerte über 15 Tage



Gemessene Durchbiegung ca.  $0,9\text{ }\mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr:  $3\text{ }\mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor



## Detailauswertung Kontrollmessung: Nanodur mit WB III

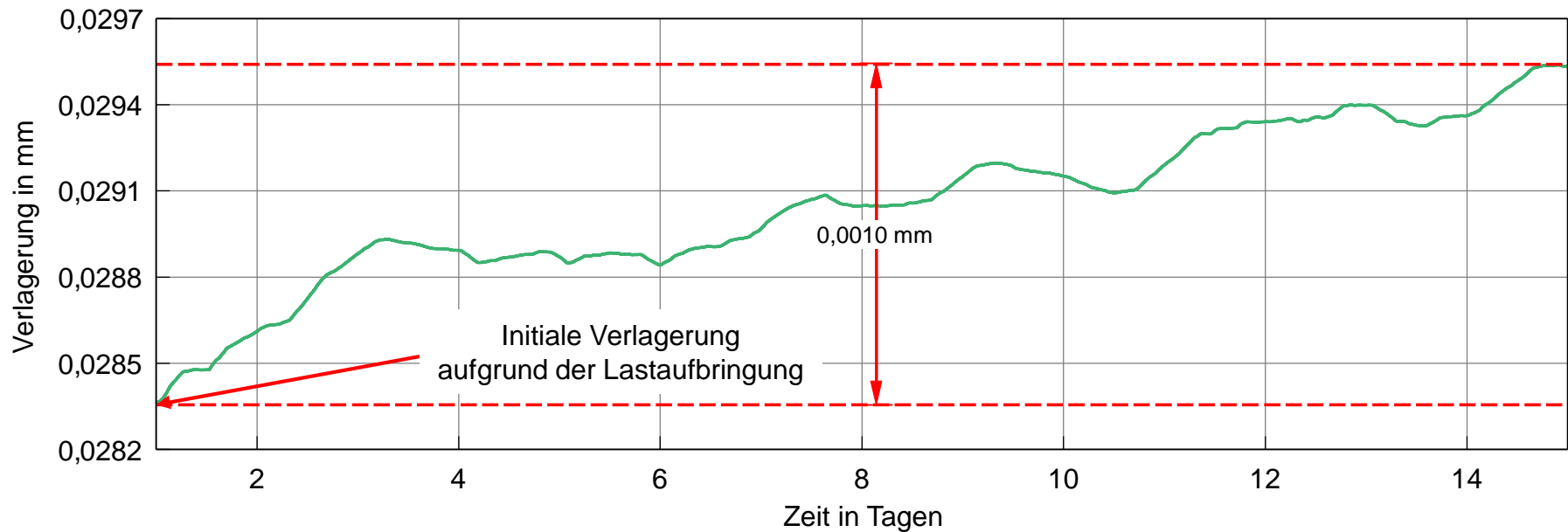
### Versuchsablauf

- 15-tägiger Versuchslauf
- Ein Messwert alle 10 Sek.
  - Ca. 130.000 Messwerte über 15 Tage



Gemessene Durchbiegung ca. 1  $\mu\text{m}$   
Kontrollmessung Messuhr: 3,5  $\mu\text{m}$

### Messschrieb Wegsensor





# Inhalt

---

**1 Ausgangssituation, Vorgehen und Zielsetzung**

**2 Versuchsaufbau**

**3 Versuchsbedingungen**

**4 Untersuchungsergebnisse**

**5 Zusammenfassung**

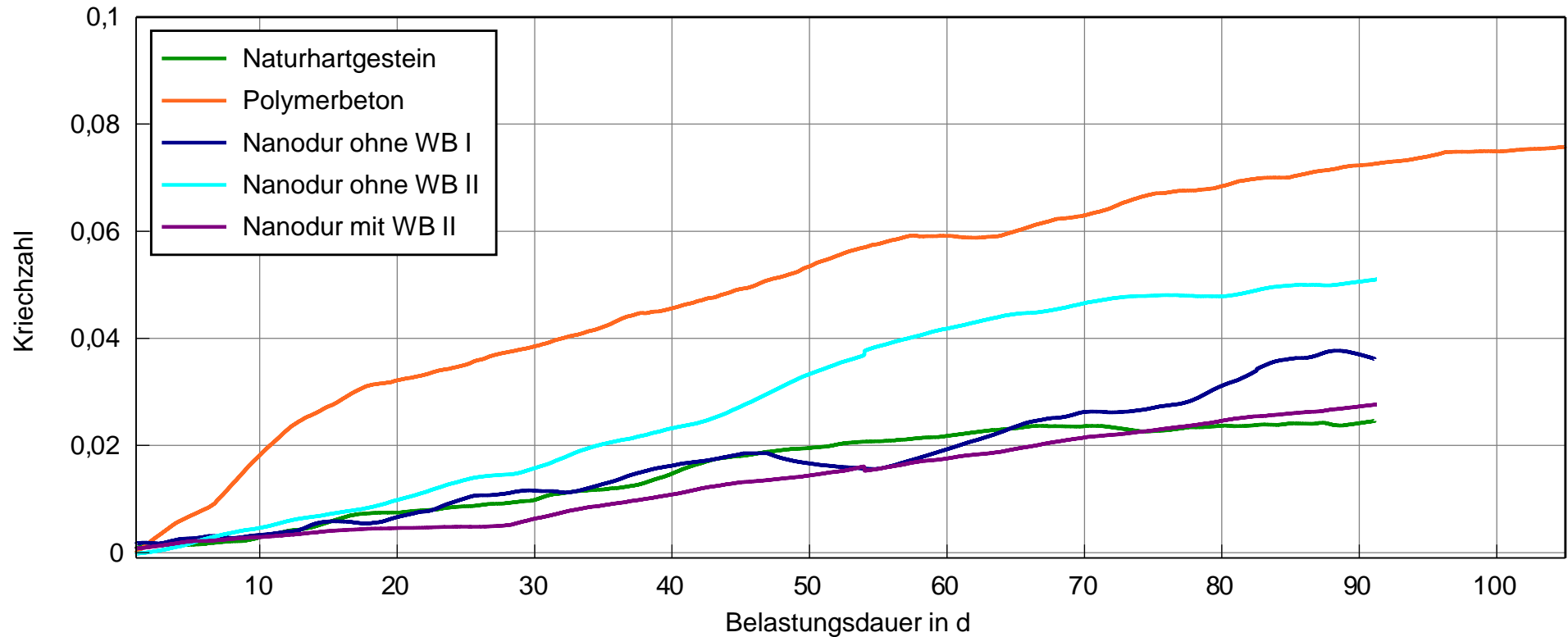
- Aufbau von zwei baugleichen Prüfständen in Anlehnung an die DIN 51290-3 vom Mai 1991 zur Durchführung von 3-Punkt-Biegeversuchen.
- Inbetriebnahme der Prüfstände in einem klimatisierten Raum mit maximaler Temperaturschwankung von  $\pm 1,5$  K und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca.  $\pm 10$  und 15 % zwischen den Messreihen.
- Prüfung der vier Probekörper (Nanodur mit WB, Polymerbeton, Nanodur ohne WB und Naturhartgestein) über 104 bzw. 92 Tage bei einer konstanten Belastung von 230 N. Die Messdaten der erste Messung Nanodur mit WB I war nicht verwertbar und ist daher nicht im Bericht aufgeführt.
- Zur Validierung der Messung II und zur Plausibilitätskontrolle der Messung I wurde ein 15-tägige Kontrollmessung durchgeführt.
- Ergebnisse der Versuchsreihen:
  - Gemessene Verlagerung der Polymerbetonprobe nach 104 Tagen ca. 3  $\mu\text{m}$
  - Gemessene Verlagerung der Naturhartgestein-Probe nach 92 Tagen ca. 0,5  $\mu\text{m}$
  - Gemessene Verlagerung der Nanodurprobe mit WB I nach 92 Tagen ca. 1  $\mu\text{m}$
  - Gemessene Verlagerung der Nanodurprobe ohne WB II nach 92 Tagen ca. 1,5  $\mu\text{m}$
  - Gemessene Verlagerung der Nanodurprobe mit WB II nach 92 Tagen ca. 1  $\mu\text{m}$
  - Kontrollmessung III bestätigt die Ergebnisse der Messung II

# Zusammenfassung

## Versuchsergebnisse

| Material           | Anfangsdurchbiegung u<br>bei Lastaufbringung<br>[mm] | Kriechverformung $\Delta u$<br>nach 90 Tagen<br>[mm] | Kriechzahl $\phi = \Delta u / u$<br>im Belastungsalter von<br>90 Tagen |
|--------------------|--|--|--|
| Polymerbeton       | 0,0440   | 0,0032   | $\approx 0,07$   |
| Naturhartgestein   | 0,0185   | 0,0005   | $\approx 0,03$   |
| Nanodur ohne WB I  | 0,0222   | 0,0009   | $\approx 0,04$   |
| Nanodur ohne WB II | 0,0265   | 0,0015   | $\approx 0,05$   |
| Nanodur mit WB II  | 0,0286   | 0,0009   | $\approx 0,03$   |

### Vergleich der Kriechzahlen



Definition Kriechzahl

$$\text{Kriechzahl} = \Delta u / u$$

Beispiel für Naturhartgestein:  $\Delta u = 0,00051 \text{ mm}$   
 $u = 0,0185 \text{ mm}$  } Kriechzahl =  $0,0005 / 0,0185 \approx 0,03$

# Ansprechpartner

---

Ihr Ansprechpartner in Sachen messtechnischer Untersuchungen  
an Werkzeug- und Produktionsmaschinen:

WZL Aachen GmbH  
Steinbachstr. 25  
D-52074 Aachen



---

Dr.-Ing. Marcel Fey

Für Rückfragen steht Ihnen gerne zur Verfügung:

Dr.-Ing. Marcel Fey  
[M.Fey@wzl.rwth-aachen.de](mailto:M.Fey@wzl.rwth-aachen.de)  
+49 (0) 241 80 27409