

DiLa

Digitalisierung in der Labordidaktik

Implementation of Web-Based Remote Access Laboratories in the Digitalization of Mechanical Engineering Education

Pavlos Aisopoulos, Christian Dettmann

Department of Mechanical and Automotive Engineering

Institute for Automotive System Engineering



Stiftung
Innovation in der
Hochschullehre

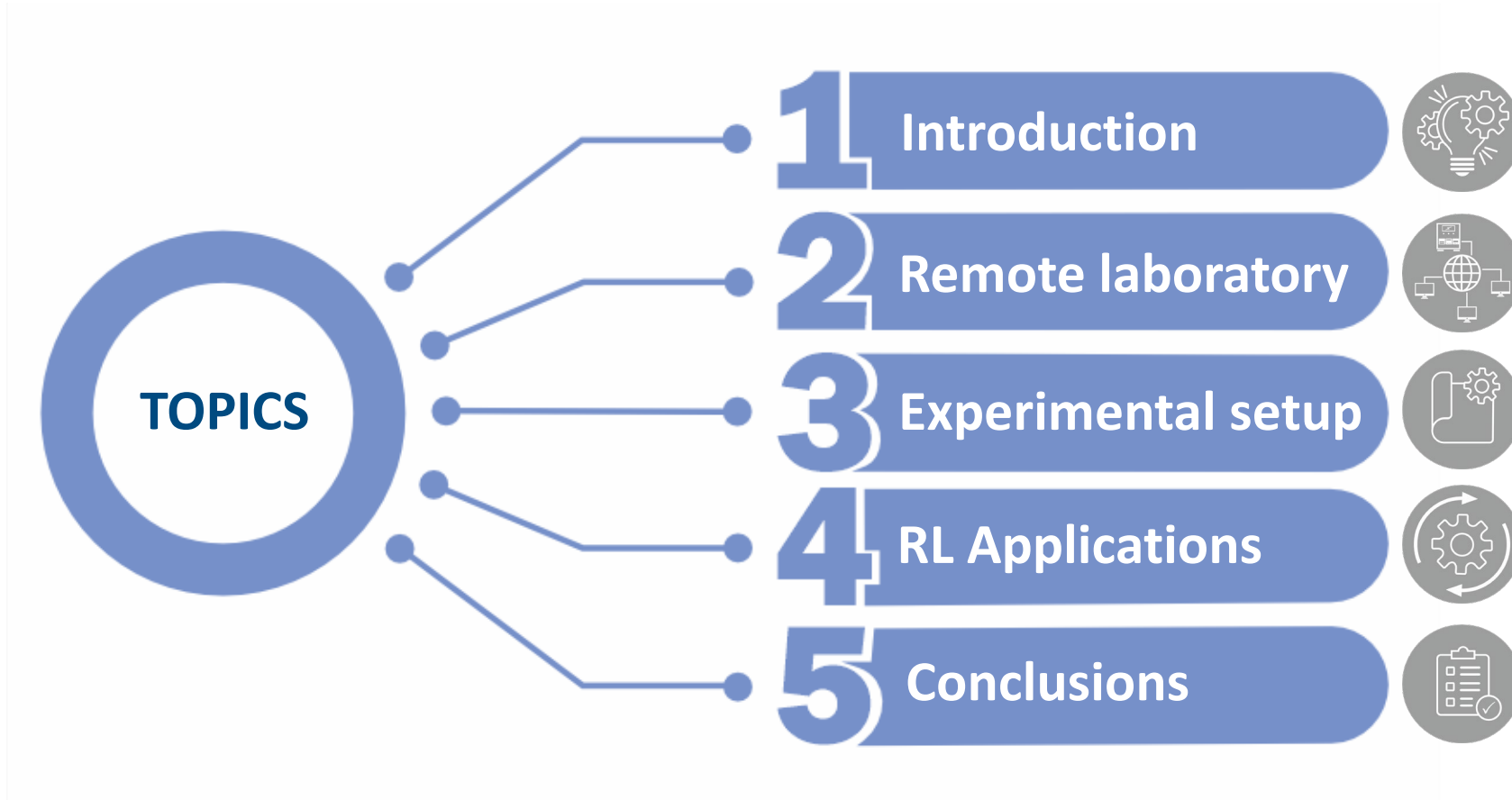


THU
Technische
Hochschule
Ulm



Digitalisierung in der Labordidaktik

Remote Laboratory



Remote Laboratory

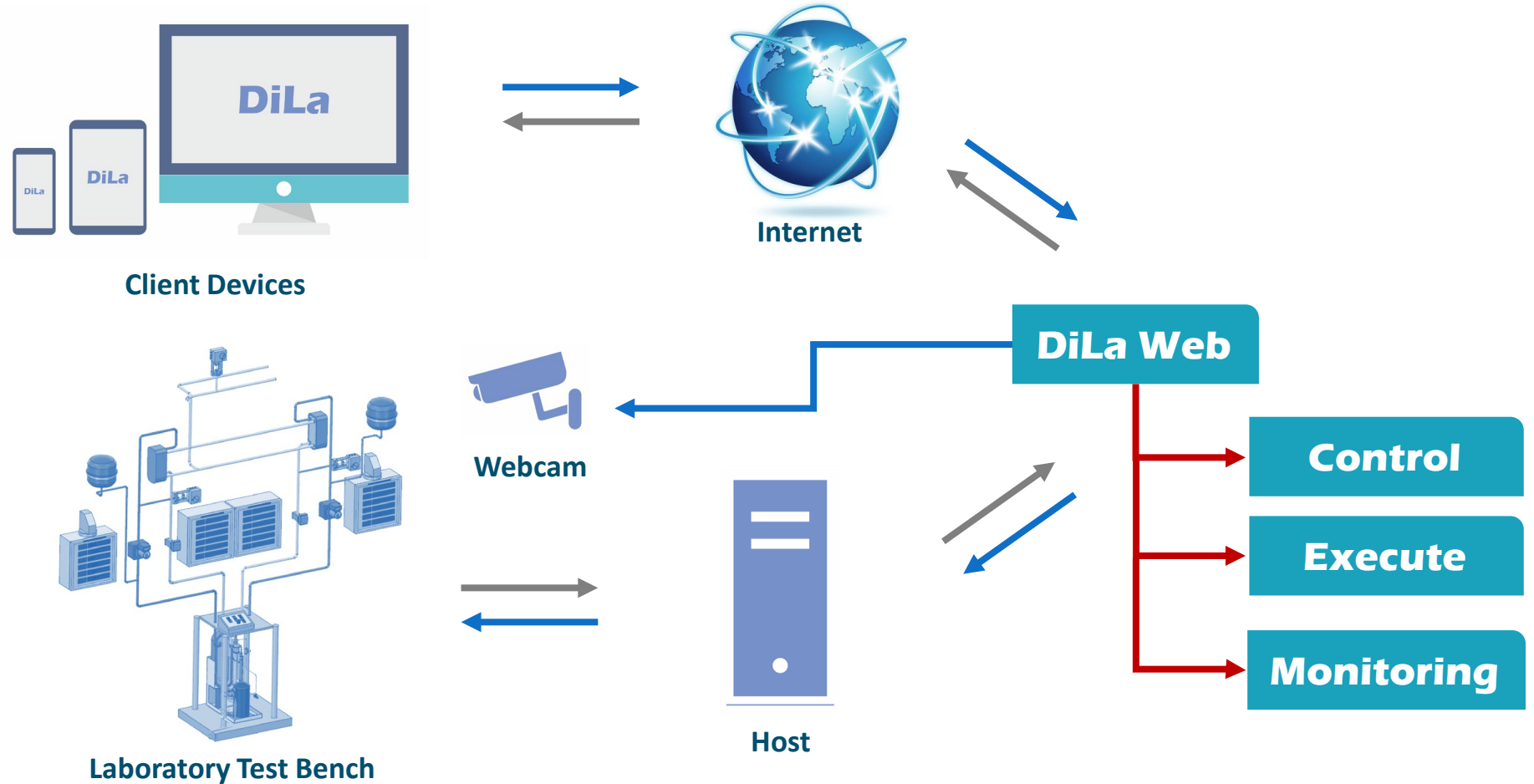
1 Introduction

2 Web-based UI

3 EL Applications

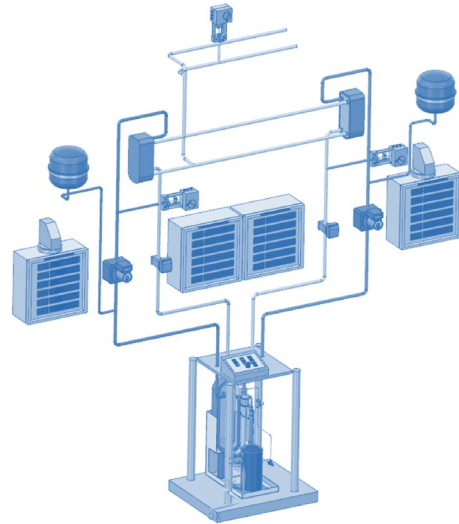
4 Mixed Reality

5 Conclusions

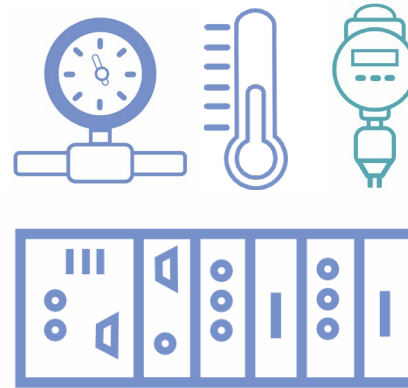


Architecture of Web Application

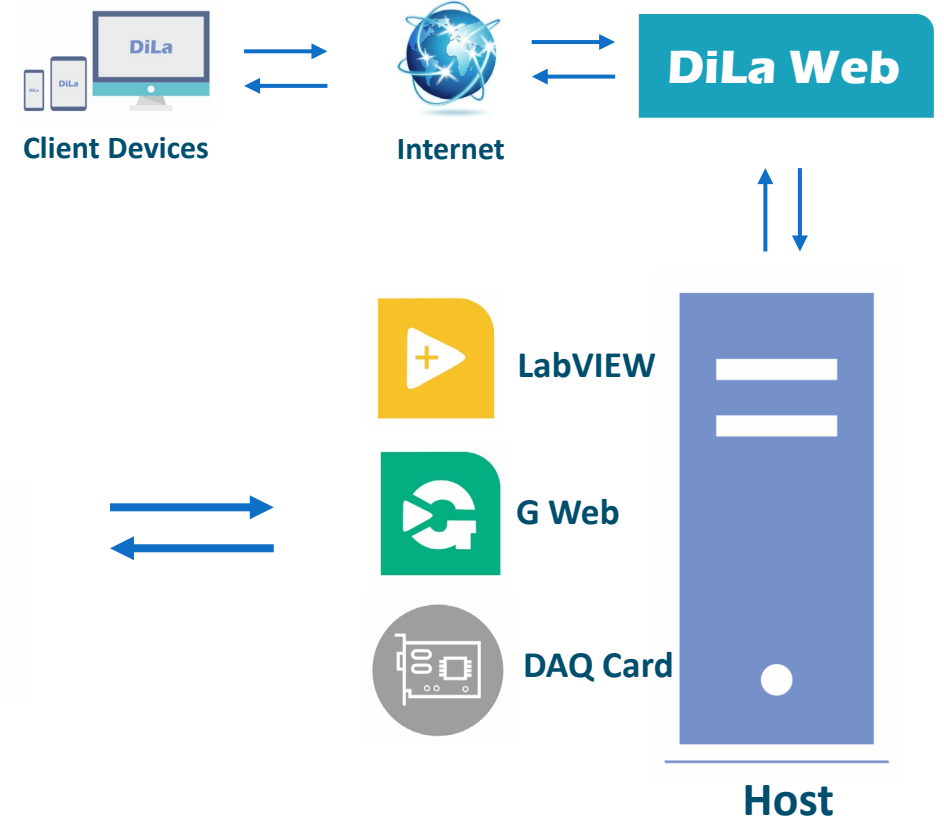
- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Laboratory Test Bench



Test System



Experimental Setup

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup**
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Forced Vibration



User Interface – Forced Vibration

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Institut für Fahrzeugsystemtechnik

Labor für Strukturmechanik und Akustik

Erzwungene Schwingung

Modalanalyse



Bei der Experimentelle Modalanalyse werden die dynamischen Eigenschaften einer Struktur untersucht, indem die Eigenfrequenzen, Eigenformen und die Dämpfung, d.h. die modalen Parameter einer Struktur, ermittelt werden. Diese charakterisieren die Schwingungsantwort einer Struktur.

Bewegungsgleichung Eigenfrequenzen Eigenformen

Stiftung Innovation in der Hochschullehre THU Technische Hochschule Ulm DiLa Digitalisierung in der Labordidaktik

Main

User Interface – Modalanalyse

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Labor für Strukturmechanik und Akustik

Modalanalyse

Bei der Experimentellen Modalanalyse werden die dynamischen Eigenschaften einer Struktur untersucht, indem die Eigenfrequenzen, Eigenformen und die Dämpfung, d.h. die modalen Parameter einer Struktur, ermittelt werden. Diese charakterisieren die Schwingungsantwort einer Struktur.

Bewegungsgleichung Eigenfrequenzen Eigenformen

Stiftung Innovation in der Hochschullehre THU Technische Hochschule Ulm DiLa Digitalisierung in der Labordidaktik



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Labor für Strukturmechanik und Akustik

Matrixform der Bewegungsgleichung

$$\begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2k & -k \\ -k & 2k \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2c & -c \\ -c & 2c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$M \cdot \ddot{y} + K \cdot \dot{y} + C \cdot y = F$$

Massenmatrix $M = \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix}$ Dämpfungsmatrix $K = \begin{pmatrix} 2k & -k \\ -k & 2k \end{pmatrix}$ Steifigkeitsmatrix $C = \begin{pmatrix} 2c & -c \\ -c & 2c \end{pmatrix}$

Eigenfrequenzen Eigenformen

Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Labor für Strukturmechanik und Akustik

Eigenformen

$$(C - \omega^2 M) \cdot \dot{y} = 0$$

$$\begin{pmatrix} 2c - m\omega^2 & -c \\ -c & 2c - m\omega^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} (2c - m\omega^2)\dot{y}_1 - c\dot{y}_2 \\ -c\dot{y}_1 + (2c - m\omega^2)\dot{y}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \dot{y}_1 = \frac{2c - m\omega^2}{c} \dot{y}_2$$

Eigenform 1 $\omega_1^2 = \omega_1^2 \Rightarrow \dot{y}_{11} = \dot{y}_{21} \Rightarrow \psi_{-1} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$

Eigenform 2 $\omega_2^2 = \omega_2^2 \Rightarrow \dot{y}_{12} = -\dot{y}_{22} \Rightarrow \psi_{-2} = \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix}$

Die Modalmatrix $\Psi = (\psi_{-1} \quad \psi_{-2}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$

Eigenform 1 Eigenform 2

Stiftung Innovation in der Hochschullehre THU Technische Hochschule Ulm DiLa Digitalisierung in der Labordidaktik

Main Modalanalyse Eigenformn-Animation Bewegungsgleichung Eigenfrequenzen

Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Labor für Strukturmechanik und Akustik

Eigenfrequenzen

Charakteristische Gleichung $\det(C - \omega^2 M) = 0$

$$\det \begin{pmatrix} 2c - m\omega^2 & -c \\ -c & 2c - m\omega^2 \end{pmatrix} = 0 \Rightarrow \omega^4 - 4 \frac{c}{m} \omega^2 + 3 \frac{c^2}{m^2} = 0$$

Die Eigenwerte $\omega_1^2 = \frac{c}{m}, \omega_2^2 = 3 \frac{c}{m}$

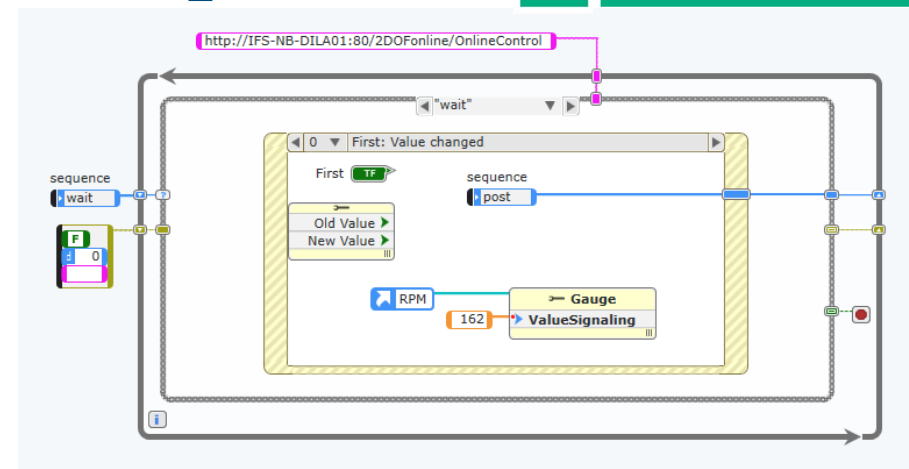
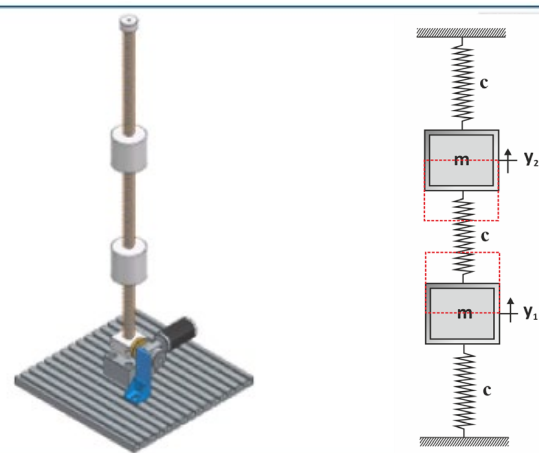
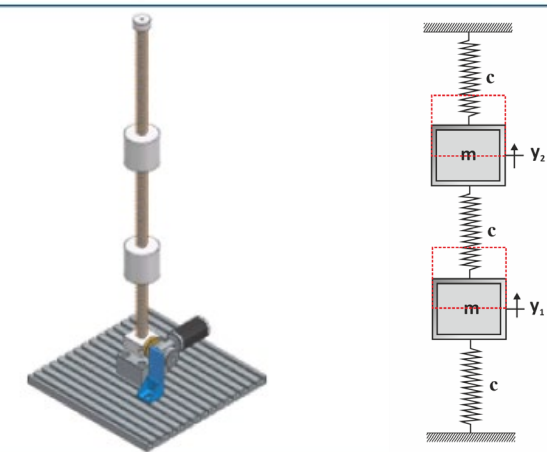
Die Eigenfrequenzen $\omega_1 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \omega_2 = \sqrt{3 \frac{c}{m}}$

Stiftung Innovation in der Hochschullehre THU Technische Hochschule Ulm DiLa Digitalisierung in der Labordidaktik

Main Modalanalyse Bewegungsgleichung Eigenformen

User Interface – Forced Vibration

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions

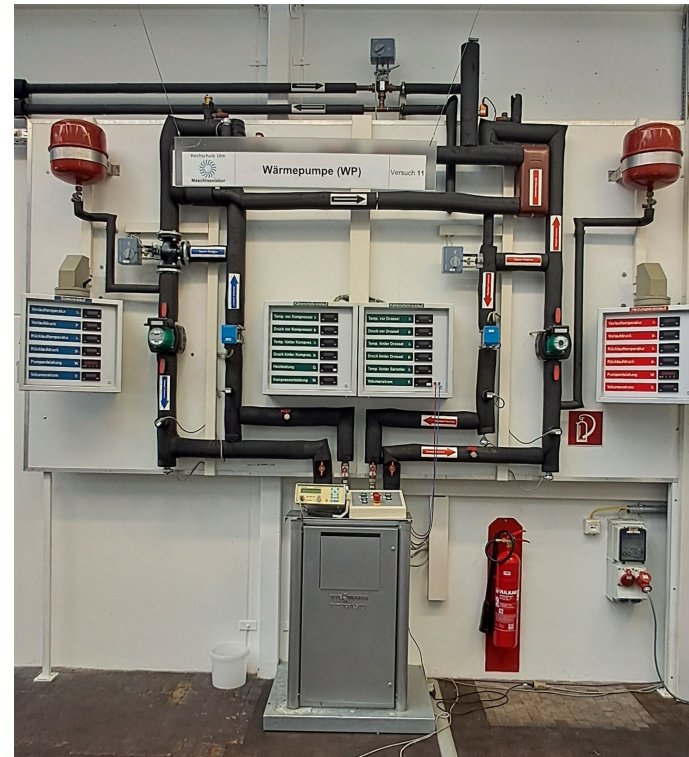


Experimental Setup

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Heat Pump



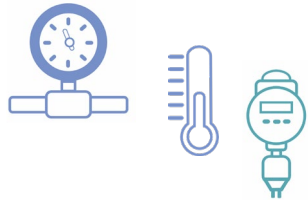
Heat Pump

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



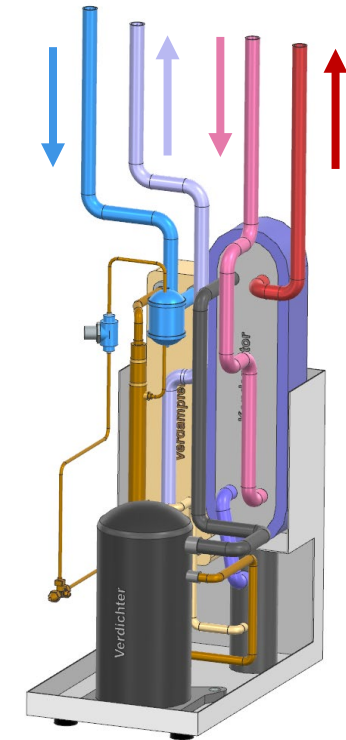
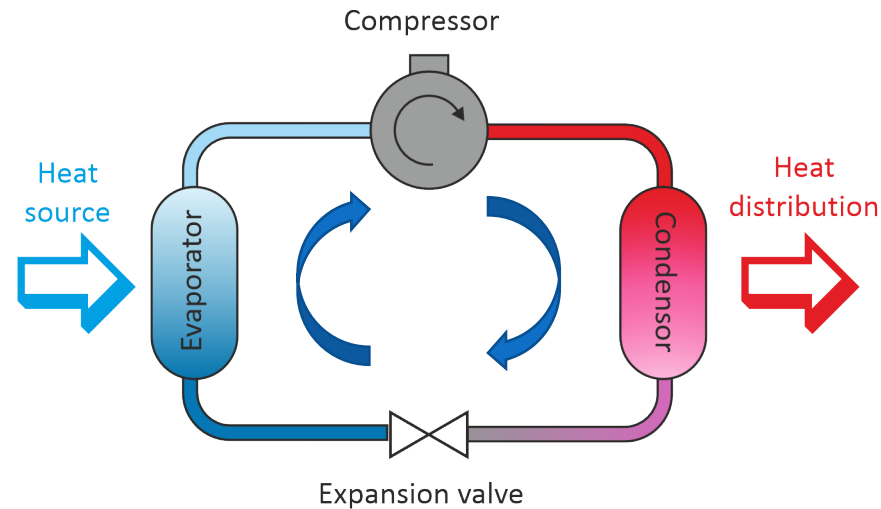
Measured Variables

- Pressure
- Temperature
- Volume flow rate



Calculated Variables

- ✓ Coefficient of performance
- ✓ Primary energy requirement
- ✓ CO2 emissions
- ✓ Energy costs.

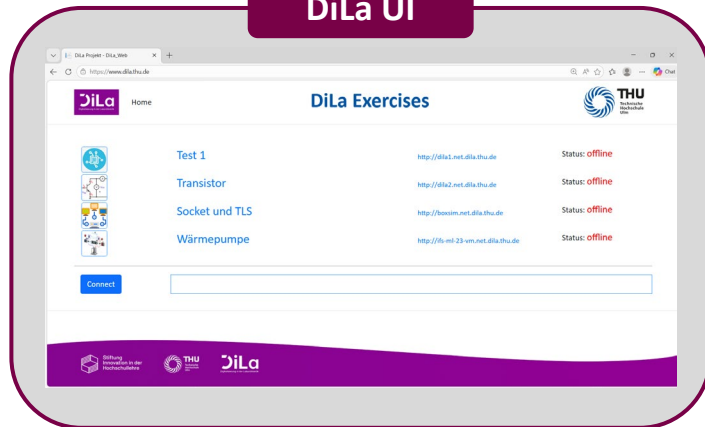


User Interface

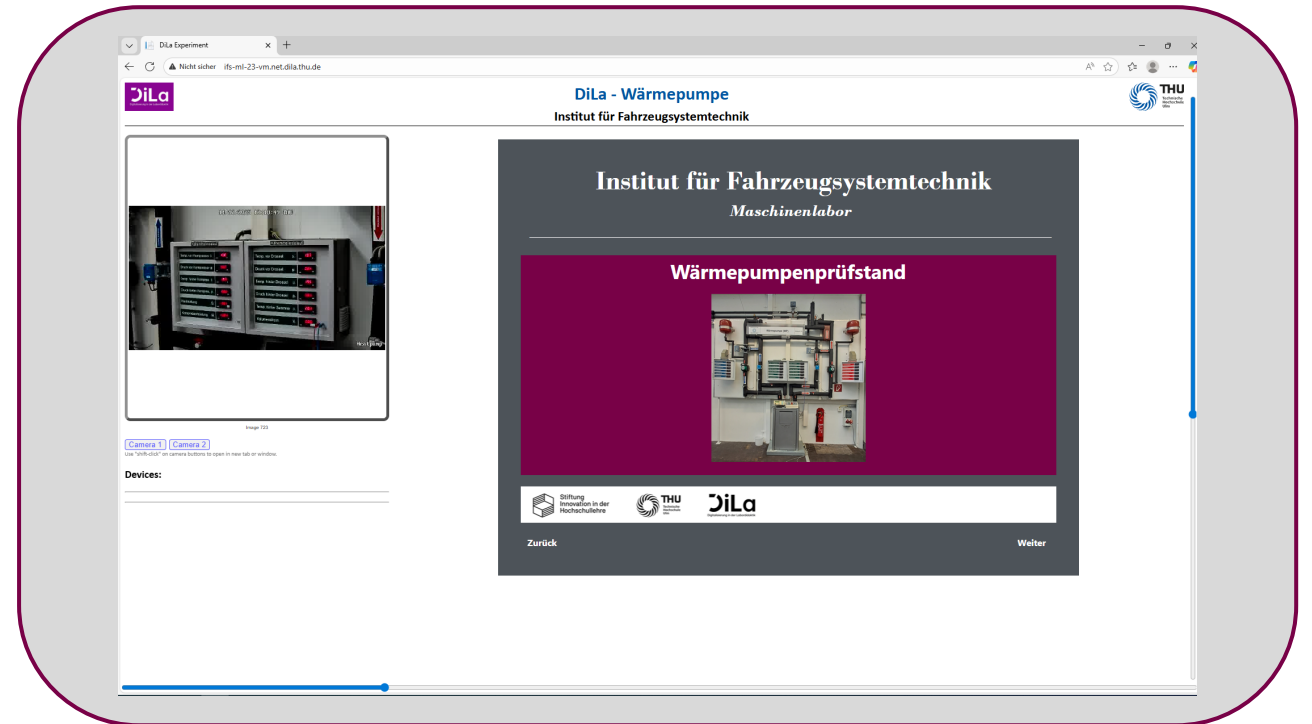
- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



DiLa UI



www.dila.thu.de



User Interface - Wärmepumpe

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Execution of the Experiment

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor
Wärmepumpe

Testen Sie Ihr Wissen



Bevor Sie das Experiment durchführen, sollten Sie über die Grundlagen der Funktionsweise einer Wärmepumpe informieren.

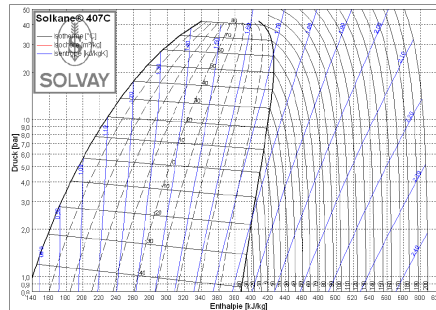
Are you ready?
Zum Quiz





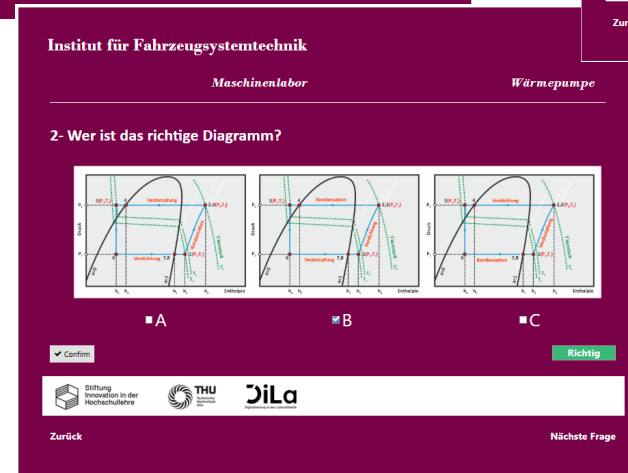
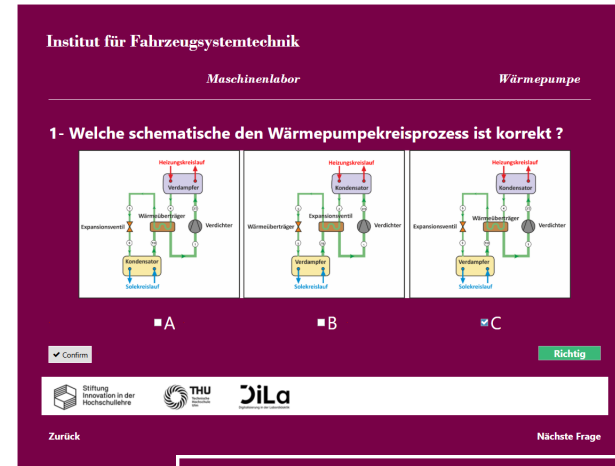
[Zurück](#)

Betriebspunkt	Solekreis				Heizkreis			
	Verdichterleistung	Heizleistung	Vorlauftemperatur	Rücklauftemperatur	Vorlauftemperatur	Rücklauftemperatur	Volumenstrom	Volumenstrom
B-5/W35	$\dot{W}_v$ [kW]	$\dot{Q}_h$ [kW]	θ_{v1} [°C]	θ_{r1} [°C]	θ_{v2} [°C]	θ_{r2} [°C]	$\dot{V}_{v1}$ [l/min]	$\dot{V}_{v2}$ [l/min]
B0/W35								
B10/W35								
B-5/W50								
B0/W50								
B10/W50								



Execution of the Experiment

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Execution of the Experiment

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



RL Application - Wärmepumpe

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor Wärmepumpe

Auswahl des Betriebspunktes

Schritt 1
Wählen Sie den Betriebspunkt

B.5/7053 B.5/7053 B.5/7053
B.5/7050 B.5/7050 B.5/7050

Zurück Weiter



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor Wärmepumpe

Messen des Kältemittelkreisprozesse

Schritt 2
Lesen Sie am genannten Betriebspunkt die Drücke und Temperaturen an den gekennzeichneten Messpunkten ab und notieren Sie diese.

Temp. vor Drossel T5 0 °C
Druck vor Drossel P5 0 bar

Temp. vor Kompressor T1 0 °C
Druck vor Kompressor P1 0 bar
Heizleistung 0 kW

Temp. hinter Drossel T6 0 °C

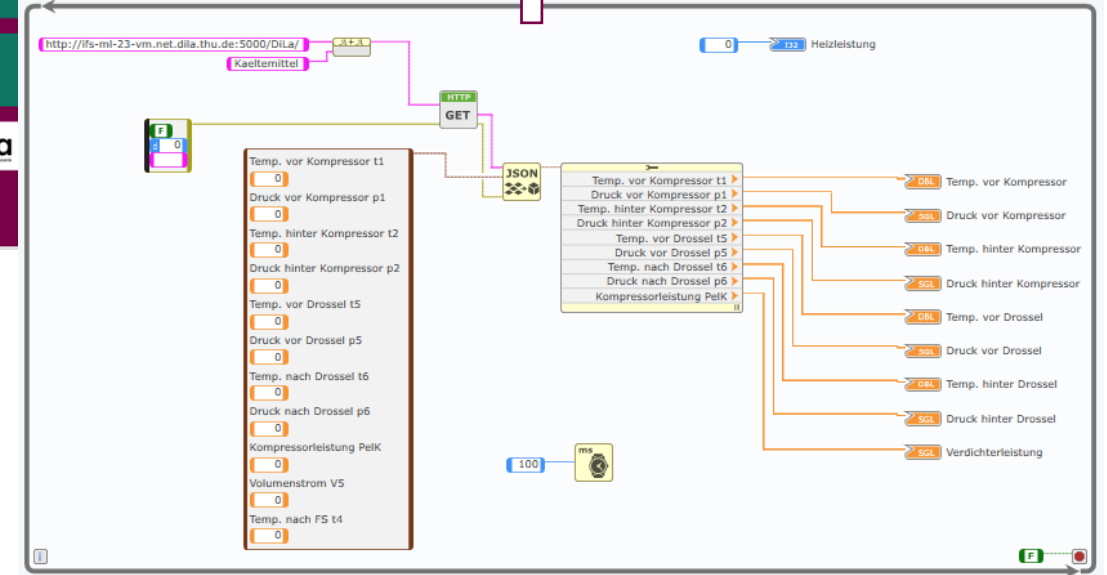
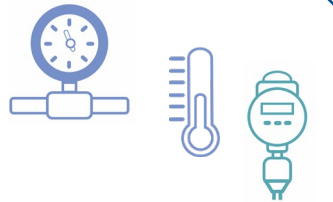
Zurück



G Web Development

Measured Variables

- Pressure
- Temperature
- Volume flow rate



Execution of the Experiment

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor Wärmepumpe

Auswahl des Betriebspunktes

Schritt 1
Wählen Sie den Betriebspunkt

B-5/7W13 B-5/7W13 B-5/7W13
B-5/7W10 B-5/7W10 B-5/7W10

Zurück Weiter



DiLa Experiment

DiLa - Wärmepumpe
Institut für Fahrzeugsystemtechnik

Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor Wärmepumpe

Messen des Kältemittelkreisprozesse

Schritt 2
Lesen Sie am genannten Betriebspunkt die Drücke und Temperaturen an den gekennzeichneten Messpunkten ab und notieren Sie diese.

Temp. vor Drossel T5	° C	Temp. hinter Drossel T6	° C
Druck vor Drossel P5	bar	Druck hinter Drossel P6	bar
Temp. vor Kompressor T1	° C	Temp. hinter Kompressor	° C
Druck vor Kompressor P1	bar	Druck hinter Kompressor	bar
Heizleistung	kW	Verdichterleistung	kW

Zurück

Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor Wärmepumpe

Messen der Betriebspunkte

Schritt 3
Fahren Sie nacheinander die angegebenen Betriebspunkte an und notieren Sie die Messwerte in der Tabelle. Tragen Sie die für den Volumenstrom verwendete Einheit in der Tabelle ein.

Hinweis:
Für die Berechnung muss ein stabiler Punkt erreicht sein. Bitte abwarten, bis sich Sole- und Heizungsvorlauftemperatur nicht mehr verändern.

Solekreislauf			
Vorlauftemperatur	° C	Rücklauftemperatur	° C
Volumenstrom		l/min	
Heizungskreislauf			
Vorlauftemperatur	° C	Rücklauftemperatur	° C
Volumenstrom		l/min	

Zurück Weiter

Execution of the Experiment

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor

Wärmepumpe

Messen der Betriebspunkte

Schritt 3
Fahren Sie nacheinander die angegebenen Betriebspunkte an und notieren Sie die Messwerte in der Tabelle. Tragen Sie die für den Volumenstrom verwendete Einheit in der Tabelle ein.

Bitte:
Für die Berechnung muss ein stabiler Punkt erreicht sein. Bitte abwarten, bis sich Leer- und Heizungsdruckaufgänger nicht mehr verändern.

Solekreislauf
Vorlauftemperatur: °C Rücklauftemperatur: °C Volumenstrom: l/min

Heizungskreislauf
Vorlauftemperatur: °C Rücklauftemperatur: °C Volumenstrom: l/min

Zurück Weiter



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor

Wärmepumpe

Auswertung und Interpretation

Schritt 4
Tragen Sie mit Hilfe der Messergebnisse den Kreisprozess in ein logp-h-Diagramm ein.

Diagram labels: Expansionsventil, Verdichtungsventil, Kondensator, Verdampfer, Solekreislauf, Heizungskreislauf.



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor

Wärmepumpe

Auswertung und Interpretation

Schritt 5
Bestimmen Sie aus dem Diagramm die Leistungszahlen ϵ_{WP} und ϵ_{KM} .

Leistungszahl Wärmepumpe
 $\epsilon_{WP} = (h_2 - h_1) / (h_1 - h_4)$

Leistungszahl Kältemaschine
 $\epsilon_{KM} = (h_2 - h_1) / (h_1 - h_4)$

Zurück Weiter



Institut für Fahrzeugsystemtechnik
Maschinenlabor

Wärmepumpe

Auswertung und Interpretation

Schritt 6
Bestimmen Sie für den Betriebspunkt den COP und die sole-/heizkreisseitigen Wärmeleistungen.

Coefficient of Performance

$$COP = \frac{\text{Heizleistung}}{\text{Verdichterleistung}} = \frac{Q_h}{W_k}$$

Zurück Weiter

Help

Conclusions

- 1 Introduction
- 2 Remote laboratory
- 3 Experimental setup
- 4 RL Applications
- 5 Conclusions



The remote laboratory offers the possibility of conducting laboratory exercises regardless of where the student and the university are located.

Through the platform, the students can access remotely and in real-time, to the real laboratory.

The usability of remote laboratories can be strengthened so that remote laboratories can be extended to other university laboratories.