

UNTERLAGEN ZUR LABORÜBUNG

# Bussysteme – Labor

SPS und DALI

SOMMERSEMESTER 2024

Bachelorstudiengang

SMART BUILDING TECHNOLOGIES

**Dr. Julian Huber**  
*julian.huber@mci.edu*

ver. 5. Mai 2025



MCI MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK  
6020 Innsbruck / Austria, Universitätsstraße 15  
+43 512 2070-0, office@mci.edu, www.mci.edu

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Hintergrund und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung . . . . .	1
1.2 Szenariobeschreibung Hörsalausstattung . . . . .	1
1.2.1 Sicherheitshinweise . . . . .	3
<b>2 Aufgaben</b>	<b>4</b>
2.1 Material . . . . .	4
2.2 IT-Entwicklung . . . . .	4
2.3 SPS-Entwicklung . . . . .	5
2.3.1 Anbindung von Sensoren . . . . .	5
2.3.2 Verschaltung . . . . .	5
2.3.3 Anschluss eines Industrie-PCs . . . . .	5
2.3.4 Ansprechen von Ausgängen . . . . .	5
2.3.5 Zuordnung der Eingänge . . . . .	6
2.3.6 Automatisierte Lüftung . . . . .	6
2.3.7 Funktionsblock: Bewegungsmelder . . . . .	7
2.3.8 Anwesenheitszähler und Nachlauf . . . . .	7
2.3.9 Optional: Regler mit Pulsweitenmodulation . . . . .	7
2.4 Beleuchtungssteuerung mit DALI . . . . .	7
2.4.1 Aufbau des DALI-Systems . . . . .	7
2.4.1.1 Verschaltung DALI . . . . .	7
2.4.2 Adressierung . . . . .	7
2.4.3 Definition von Szenen . . . . .	8
2.4.4 Definition von Gruppen . . . . .	8
2.4.5 Optional: Zusammensetzung der Versuchsaufbauten . . . . .	9
2.4.6 Optional: Integration von DALI in TwinCAT . . . . .	9
2.5 IoT mit MQTT . . . . .	9
2.5.1 Netzwerkeinrichtung . . . . .	9

2.5.2	Optional: Datenübertragung per MQTT . . . . .	9
2.5.3	Dashboard mit Node-RED . . . . .	9
2.5.4	Optional: Beckhoff mit MQTT . . . . .	10
2.6	Optional: home-assistant.io . . . . .	10

# Kapitel 1

## Hintergrund und Zielsetzung

### 1.1 Einleitung

In dieser Laborübung entwickeln Sie die Raumautomation eines großen Hörsaals an einer Hochschule (siehe Abbildung 1.1). Ihre Aufgabe ist es, die vom Auftraggeber vorgegebenen Anwendungsfälle umzusetzen. Die Steuerung erfolgt mittels einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) der Firma Beckhoff Automation (<https://www.beckhoff.com/de-at/>). Die Übung ist in drei Hauptteile gegliedert:

- **IT-Entwicklung:** Erstellung eines digitalen Zwillings des Laboraufbaus.
- **SPS-Entwicklung und Inbetriebnahme:** Zuordnung von Sensoren und Aktoren zu SPS-Ein- und Ausgängen sowie Programmierung der Anforderungen.
- **DALI und IoT:** Einrichtung der Beleuchtungssteuerung mit DALI und eines IoT-Netzwerks für eine schaltbare Steckdose.

### 1.2 Szenariobeschreibung Hörsalausstattung

Der Hörsaal ist mit einem DALI-Beleuchtungssystem ausgestattet, das zunächst nicht betrachtet wird. Zusätzlich gibt es Kontrollleuchten (Lampe 1 und 2: weiß; Lampe 3 und 4: farbig) sowie eine Lüftungsanlage (Lüfter oben rechts). Abbildung 1.2 zeigt ein Modell des Hörsaals.

Am Laboraufbau befindet sich unten links ein Steuerungspanel, das verschiedene Raumzustände simuliert. Es umfasst vier Schalter: zwei in der ersten Spalte (links am Aufbau) und zwei rastende Drehknöpfe in der zweiten Spalte (rechts daneben). Diese steuern Funktionen, die Sie im Verlauf der Übung programmieren.

Der Hörsaal verfügt über folgende Sensoren:

## 1. Hintergrund und Zielsetzung

---

- **Helligkeitssensor:** Misst mit einem Ausgangssignal von 0 V bis 10 V, umgerechnet in 0 lx bis 100 000 lx. Der Sensor kann durch Beleuchtung (z. B. mit einer Smartphone-Lampe) beeinflusst werden ([https://shop.bb-sensors.com/out/media/Bedienungsanleitung\\_Helligkeitssensor\\_Messumformer\\_0555%20300x.pdf](https://shop.bb-sensors.com/out/media/Bedienungsanleitung_Helligkeitssensor_Messumformer_0555%20300x.pdf)).
- **Multisensor:** Misst CO<sub>2</sub>, relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur mit drei 0 V bis 10 V Ausgängen ([https://www.sensorshop24.de/productpdf/download/file/id/1106/name/Raumf%25C3%25BChler\\_zur\\_Messung\\_von\\_CO2%252C\\_Temperatur\\_und\\_Feuchte\\_%25280%25E2%2580%259110V4%25E2%2580%259120mA%2529.pdf](https://www.sensorshop24.de/productpdf/download/file/id/1106/name/Raumf%25C3%25BChler_zur_Messung_von_CO2%252C_Temperatur_und_Feuchte_%25280%25E2%2580%259110V4%25E2%2580%259120mA%2529.pdf)).

Die Inbetriebnahme erfolgt in folgenden Schritten:

1. **IT-Entwicklung:** Erstellung eines digitalen Zwillings.
2. **SPS-Entwicklung:** Zuordnung und Programmierung von Sensoren und Aktoren.
3. **DALI:** Einrichtung und Test der Beleuchtungssteuerung.
4. **Internet of Things:** Einrichtung eines Netzwerks zur Steuerung einer schaltbaren Steckdose und Erstellung eines Dashboards.

Pro Laborgruppe steht ein Aufbau zur Verfügung. Die Aufgaben können in Gruppen von bis zu drei Personen bearbeitet werden. Die ersten beiden Teilaufgaben sollten in den ersten beiden Laborblöcken abgeschlossen sein.



Abb. 1.1: Entwurf eines neuen MCI-Campus in der Nähe der Innsbrucker Altstadt. Visualisierung: Henning Larsen.



Abb. 1.2: Demonstrationsaufbau in Version 0.1.

### 1.2.1 Sicherheitshinweise

Das Netzteil des Laboraufbaus wird mit 230 V Wechselspannung versorgt. Alle Komponenten arbeiten mit 24 V Gleichstrom. Solange der Aufbau eingesteckt ist, dürfen keine Teile berührt werden, außer dem Bedienpanel an der Front.

# Kapitel 2

## Aufgaben

### 2.1 Material

Für die Durchführung des Labors werden folgende Hard- und Software benötigt:

- PC mit Beckhoff TwinCAT TcVaeShell (<https://www.beckhoff.com/de-at/support/downloadfinder/software-und-tools/>), Netzwerkkarte und Ethernet-Anschluss.
- SPS-Demonstrationsaufbau (siehe Abbildung 1.2).

Diese Ausstattung reicht für die Aufgabe *IT-Entwicklung*.

### 2.2 IT-Entwicklung

Entwickeln Sie eine Visualisierung für folgende Komponenten: vier Schalter, drei bis vier Kontroll-LEDs, vier analoge Sensoreingänge, ein digitaler Ausgang. Definieren Sie im MAIN-Programm passende Variablen und verknüpfen Sie diese.

- Dokumentieren Sie, welches Peripheriegerät mit welcher Klemme verbunden ist (siehe Datenblätter im Anhang und Klemmenübersicht: <https://www.beckhoff.com/de-at/produkte/i-o/>).
- Notieren Sie die erwarteten Wertebereiche für jeden Eingang und integrieren Sie diese in die Visualisierungselemente.

## 2.3 SPS-Entwicklung

### 2.3.1 Anbindung von Sensoren

Der Hörsaal ist mit Sensoren, Aktoren und einer Beckhoff-SPS ausgestattet, jedoch fehlen Ausführungspläne. Ihre Aufgabe ist es, den Multisensor und den Helligkeitssensor in Betrieb zu nehmen, sodass die Messwerte für Raumautomatisierungsfunktionen genutzt werden können.

### 2.3.2 Verschaltung

Erstellen Sie ein Schaltbild der SPS-Verkabelung, das folgende Elemente umfasst: Klemmen, Komponenten, Stromversorgung und Kommunikationskabel (Doppelstockklemmen ausgenommen). Handzeichnungen sind erlaubt, müssen jedoch folgendes darstellen:

- Spannungsversorgte Komponenten.
- Potential an jedem Draht.
- Signalübertragende Drähte.
- Zuordnung von Komponenten zu Ein-/Ausgangsklemmen.

**Hinweis:** DALI-Komponenten sind in dieser Aufgabe nicht zu berücksichtigen, werden jedoch später relevant. Sie können ein gemeinsames oder separate Schaltbilder erstellen.

### 2.3.3 Anschluss eines Industrie-PCs

Verbinden Sie einen PC mit TwinCAT über ein Patch-Kabel mit dem Industrie-PC im Demonstrationsaufbau. Öffnen Sie TwinCAT und stellen Sie die Verbindung her ([https://youtu.be/LJUcyWCAH\\_Y?list=PL2LjUivoqcmUNF4wfaZdWQEZh9ptpIFuw&t=296](https://youtu.be/LJUcyWCAH_Y?list=PL2LjUivoqcmUNF4wfaZdWQEZh9ptpIFuw&t=296)).

### 2.3.4 Ansprechen von Ausgängen

Steuern Sie die Lampen und den Lüfter testweise direkt über das Klemmenmenü:

1. Verbinden Sie sich mit dem Industrie-PC.
2. Aktivieren Sie TwinCAT im Konfigurationsmodus.
3. Scannen Sie E/A-Geräte (Rechtsklick auf E/A/Geräte im Projektmenü).
4. Wählen Sie den richtigen Netzwerkadapter und aktivieren Sie „Free Run“.
5. Wählen Sie die richtige Klemme und den Kanal für Lampe 1.

## 2. Aufgaben

---

6. Öffnen Sie den Reiter „Online“, geben Sie den Wert 1 ein und klicken Sie auf „Schreiben“.
7. Lampe 1 sollte nun leuchten.

Überprüfen Sie die Verkabelung bei Fehlfunktionen (nur bei ausgestecktem Aufbau). Dokumentieren Sie den Fundort von Lampe 1 (<https://www.beckhoff.com/en-en/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1002.html>).

### 2.3.5 Zuordnung der Eingänge

Erstellen Sie eine Tabelle mit den Ein- und Ausgangsklemmen (Nummer EK..., Kanäle) und den angeschlossenen Komponenten. Testen Sie alle Komponenten auf Funktion. Bestimmen Sie, welcher Sensor an welchen Eingang angeschlossen ist, indem Sie einen Versuchsaufbau und ein Vorgehen entwickeln. Der Multisensor zeigt Messwerte auf einem Display an.

Speichern Sie Eingangswerte in globalen Variablen vom Typ *INTEGER* und wandeln Sie diese im Hauptprogramm in physikalische Größen vom Typ *REAL* um. Schreiben Sie eine Funktion für das lineare Mapping und verknüpfen Sie die Variablen mit den Ein-/Ausgängen (*bIn AT %I\* : BOOL; bzw. bOut AT %Q\* : BOOL;*).

**Laborbericht:** Verfassen Sie einen Bericht nach folgender Struktur:

- **Einleitung & Aufgabenstellung:** Beschreibung der Aufgabe (Analog-Digital-Wandlung, lineares Mapping, SPS-Hauptprogramm).
- **Versuchsaufbau & Materialien:** Verwendete Komponenten.
- **Versuchsdurchführung & Methoden:** Vorgehen zur Sensoridentifikation.
- **Ergebnis & Interpretation:** Tabelle mit Zuordnungen und Mapping-Parametern.

Implementieren Sie die Mapping-Funktion und binden Sie diese ins Hauptprogramm ein.

### 2.3.6 Automatisierte Lüftung

Programmieren und testen Sie eine Lüftung mit folgender Logik:

- Umschaltung zwischen manuellem und Automatik-Modus per Taster.
- **Automatik-Modus:** Bei CO<sub>2</sub> > 700 ppm leuchten farbige Lampen; ab 1500 ppm schaltet der Lüfter ein. Bei Unterschreiten läuft der Lüfter 10 s nach. Weiße Lampen zeigen den Automatik-Modus an.
- **Manueller Modus:** Direkte Lüftersteuerung.

### 2.3.7 Funktionsblock: Bewegungsmelder

Entwickeln Sie einen Funktionsblock, der Bewegungen anhand des Helligkeitssensors erkennt und eine boolsche Variable ausgibt. Eingabeveriablen: Helligkeitsthreshold, Mindestdauer der Helligkeit. Im Automatik-Modus sollen weiße Lampen bei Anwesenheit für 5 s ausgehen.

### 2.3.8 Anwesenheitszähler und Nachlauf

Passen Sie das Programm an, sodass ein Schalter Veranstaltungen und ein weiterer Tag/Nacht repräsentiert. Der Lüfter soll bei Tagesende starten, mit einer Nachlaufzeit abhängig von der Anzahl der Veranstaltungen (Konvertierung mit *INT\_TO\_TIME*). Fügen Sie eine Zähleranzeige in die Visualisierung ein.

### 2.3.9 Optional: Regler mit Pulsweitenmodulation

Regeln Sie den Lüfter mit einem PID-Regler (Regelgröße: CO<sub>2</sub>-Konzentration, Führungsgröße über Visualisierung eingebbar). Steuern Sie den Lüfter per Pulsweitenmodulation.

## 2.4 Beleuchtungssteuerung mit DALI

### 2.4.1 Aufbau des DALI-Systems

Der Versuchsaufbau enthält DALI-Komponenten (siehe Tabelle 2.1 und Handbuch: [https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/DALI-Handbuch\\_de.pdf](https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/DALI-Handbuch_de.pdf)).

#### 2.4.1.1 Verschaltung DALI

Erstellen Sie ein Schaltbild der DALI-Verkabelung (zwei DALI-Leitungen, 24 V Spannungsversorgung, Neutralleiter, Verbindungen zwischen DALI-Komponenten, LEDs und Tastern). Verwenden Sie geeignete Symbole und kennzeichnen Sie Ein-/Ausgänge. Deaktivieren Sie ggf. die Klemme KL6821, indem Sie die Spannungsversorgung (V+) der BK1250 entfernen.

Siehe Handbücher: [https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/DALI-Handbuch\\_de.pdf](https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/DALI-Handbuch_de.pdf), [https://www.tridonic.com/com/de/download/Manual\\_masterCONFIGURATOR\\_de.pdf](https://www.tridonic.com/com/de/download/Manual_masterCONFIGURATOR_de.pdf), [https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/Manual\\_DALI\\_XC\\_de.pdf](https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/Manual_DALI_XC_de.pdf).

### 2.4.2 Adressierung

Verwenden Sie *masterCONFIGURATOR*, um alle DALI-Komponenten zu finden und Adressen zu vergeben. Dokumentieren Sie die Adressen, testen Sie die Lampen (warm-weiß und kalt-weiß) und notieren Sie die Zuordnung der Schalter in *DALIMonitor*. Analysieren Sie die Telegramme (Bitlänge, uni-/bidirektionale Kommunikation).

## 2. Aufgaben

---

Tab. 2.1: DALI-Komponenten

Bezeichnung	Typ	Link zum Datenblatt
TRIDONIC DA-LI USB	USB-Schnittstellenmodul	<a href="https://www.tridonic.com/com/de/download/data_sheets/DS_DALI_USB_de.pdf">https://www.tridonic.com/com/de/download/data_sheets/DS_DALI_USB_de.pdf</a>
TRIDONIC DA-LI XC	Steuermodul mit Schalteingängen	<a href="https://www.tridonic.com/com/de/download/data_sheets/DALI_XC_de.pdf">https://www.tridonic.com/com/de/download/data_sheets/DALI_XC_de.pdf</a>
TRIDONIC DA-LI MSensor 5DPI 14	Multisensor	<a href="https://www.tridonic.com/com/de/download/data_sheets/DALI_MSensor_5DPI_14_de.pdf">https://www.tridonic.com/com/de/download/data_sheets/DALI_MSensor_5DPI_14_de.pdf</a>
LUNATONE 89453827	DALI DT6 LED Dimmer CV 12-28VDC	<a href="https://www.lunatone.com/wp-content/uploads/2018/03/DALI_2Ch_LED_Dimmer_CV_SD2_GER_D0011.pdf">https://www.lunatone.com/wp-content/uploads/2018/03/DALI_2Ch_LED_Dimmer_CV_SD2_GER_D0011.pdf</a>

### 2.4.3 Definition von Szenen

Definieren Sie vier Szenen für beide Lampen:

- Szene 0: Alle Lampen aus.
- Szene 1 (Lesen): Helles, gemischtes Licht.
- Szene 2 (Hintergrund): Gedimmtes, warmes Licht.
- Szene 3 (Vortrag): Mittlere Helligkeit, kalt-weiß.

Rufen Sie die Szenen über Taster auf (Controller in den korrekten Modus versetzen). Nutzen Sie *masterCONFIGURATOR* zur Konfiguration. Erklären Sie, warum die Helligkeit nicht exakt auf 50 % eingestellt werden kann, und konfigurieren Sie die Lampen so, dass sie bei Busausfall auf volle Leuchtstärke schalten. Beschreiben Sie, wie Sie dies testen würden.

### 2.4.4 Definition von Gruppen

Ordnen Sie warm-weiße LEDs der Gruppe 1 und kalt-weiße LEDs der Gruppe 2 zu. Nutzen Sie Schalter, um die Gruppen unabhängig zu schalten und zu dimmen (Controller in den korrekten Modus versetzen).

#### 2.4.5 Optional: Zusammensetzung der Versuchsaufbauten

Verbinden Sie zwei DALI-Kreise, vergeben Sie neue Adressen und kombinieren Sie die Anwendungsfälle: Schalter eines Aufbaus rufen Szenen auf, Schalter des anderen dimmen Gruppen.

#### 2.4.6 Optional: Integration von DALI in TwinCAT

Erstellen Sie ein TwinCAT-Projekt mit der Erweiterung TF8050 ([https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tf8050\\_tc3\\_xls/index.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tf8050_tc3_xls/index.html&id=)), um das DALI-System zu steuern.

### 2.5 IoT mit MQTT

Ziel ist es, eine Shelly Plug S WLAN-Steckdose in ein Dashboard zu integrieren, um Messdaten zu visualisieren und die Steckdose zu schalten.

#### 2.5.1 Netzwerkeinrichtung

Setzen Sie die Steckdose auf Werkseinstellungen zurück (Taste 10s halten, LED blinkt rot/blau). Verbinden Sie sich mit dem WLAN *shellyplug-s...* und rufen Sie <http://192.168.33.1> auf. Konfigurieren Sie das WLAN mit den Netzwerkdaten (IPv4-Adresse, Subnetzmaske, Standardgateway via *ipconfig*). Vergeben Sie eine feste IP-Adresse für die Steckdose.

#### 2.5.2 Optional: Datenübertragung per MQTT

Aktivieren Sie MQTT unter *Internet & Security / Advanced Developer Settings / Enable MQTT* mit:

- URL: 158.180.44.197
- Port: 1883
- Username: bobm
- Password: letmein

Speichern, neu starten und überwachen Sie den MQTT-Broker mit *MQTT Explorer*.

#### 2.5.3 Dashboard mit Node-RED

Starten Sie Node-RED (*node-red* in der NodeJS-Konsole) und verbinden Sie es mit MQTT. Fügen Sie ein Dashboard mit einem Chart hinzu (*msg.payload* als Zahl). Siehe Anleitung: [https://jhumci.github.io/2024\\_SoSe\\_IoT1/IoT\\_5\\_Netzwerke\\_Aufgaben](https://jhumci.github.io/2024_SoSe_IoT1/IoT_5_Netzwerke_Aufgaben).

### 2.5.4 Optional: Beckhoff mit MQTT

Geben Sie Sensordaten des Hörsaals per MQTT aus und machen Sie die Beleuchtung steuerbar ([https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tf6701\\_tc3\\_iot\\_communicat\\_mqtt/3391755403.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/tf6701_tc3_iot_communicat_mqtt/3391755403.html&id=)).

## 2.6 Optional: home-assistant.io

Richten Sie Home Assistent <https://www.home-assistant.io/> auf einem Rapsberry Pi ein und fügen Sie einen Pico Pi mit Sensor als Sensor hinzu.

## Referenzen

- Beckhoff Automation Dokumentation: [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3\\_plc\\_intro/2525041803.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2525041803.html&id=)
- YouTube SPS-Kurs Christian Stöcker: <https://www.youtube.com/watch?v=GOFUsWc61Hk&list=PL2LjUivoqcmUNF4wfaZdWQEZm9ptpIFuw>
- TRIDONIC DALI-Dokumentation: [https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/DALI-Handbuch\\_de.pdf](https://www.tridonic.com/com/de/download/technical/DALI-Handbuch_de.pdf)
- Multisensor Datenblatt: [https://www.sensorshop24.de/productpdf/download/file/id/1106/name/Raumf%25C3%25BChler\\_zur\\_Messung\\_von\\_C02%252C\\_Temperatur\\_und\\_Feuchte\\_%25280%25E2%2580%259110V4%25E2%2580%259120mA%2529.pdf/](https://www.sensorshop24.de/productpdf/download/file/id/1106/name/Raumf%25C3%25BChler_zur_Messung_von_C02%252C_Temperatur_und_Feuchte_%25280%25E2%2580%259110V4%25E2%2580%259120mA%2529.pdf/)
- Multisensor Kennlinien: <https://www.sensorshop24.de/raumfuehler-zur-messung-von-co2-tem>
- Helligkeitssensor Datenblatt: [https://www.sensorshop24.de/productpdf/download/file/id/1910/name/Bewegungs-\\_und\\_Helligkeitssensor\\_Au%25C3%259Fenbereich\\_%25280%25E2%2580%259110V4%25E2%2580%259120mA%2529.pdf/](https://www.sensorshop24.de/productpdf/download/file/id/1910/name/Bewegungs-_und_Helligkeitssensor_Au%25C3%259Fenbereich_%25280%25E2%2580%259110V4%25E2%2580%259120mA%2529.pdf/)