

Digitaltechnik

Wintersemester 2021/2022

Projekt Teil 2



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schneider, M.Sc. Daniel Günther, M.Sc. Amos Treiber

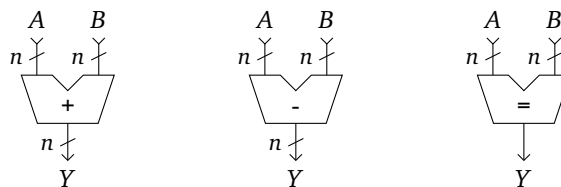
10.12.2021

Allgemeine Hinweise

- Das Projekt besteht aus drei Teilen. In jedem Teil können Sie 30 Projektpunkte (PP) erhalten. Zum Erwerb der Studienleistung benötigen Sie entweder **mindestens 45 PP über alle Teile hinweg oder mindestens 15 PP in jeweils zwei Teilen**.
- Sollten Sie die Studienleistung bereits in vergangenen Semestern erworben haben, müssen Sie nicht am Projekt teilnehmen. Wir empfehlen jedoch ausdrücklich die freiwillige Teilnahme am Projekt zur Vertiefung des Stoffs und als Vorbereitung für die Klausur.
- Die Abgabe des 2. Teils muss in Moodle bis spätestens **So, 16.01.2022, 18:00 Uhr** erfolgen.
- Sie müssen den schriftlichen Teil Ihrer Lösung als **einzelne PDF Datei** abgeben, sowie alle Dateien zu Programmieraufgaben als **einzelnes ZIP Archiv**.
Sofern Sie Tabellen oder andere Materialien auf dem Aufgabenblatt ausfüllen sollten, können Sie diese entweder in Ihre Lösung kopieren oder die ausgefüllten Aufgabenblätter an Ihr PDF anhängen.
- Bewertet wird insbesondere der Lösungsweg, nicht nur das Ergebnis. Geben Sie alle nötigen Zwischenschritte an.

Hinweise zu diesem Teil des Projekts

- In diesem Teil des Projekts ist es sehr wichtig, dass Sie Ihre Lösung ausführlich dokumentieren.
- Ihre Lösung soll stets **nur die beschriebenen Anforderungen erfüllen**. Spezielle Sonderfälle, die in der Aufgabenstellung nicht beschrieben sind, müssen Sie in Ihrer Lösung ebenfalls nicht beachten.
- Sie haben jederzeit Zugriff auf das CLK Signal sowie auf die Konstanten 0 und 1.
- Sie dürfen zusammenhängende Wires zu einem zusammenfassen. Notieren Sie in dem Fall die Bitbreite des Wires. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn Sie eine Dezimalzahl als konstanten Eingang verwenden.
- Sie können Addierer, Subtrahierer und Vergleicher-Gatter mit folgenden Symbolen verwenden:



Prolog

Das Einlasssystem für den Filmkreis ist unten abgebildet und besteht aus folgenden 6 Komponenten (s. 1): zentrale Kontrolleinheit, Einlass-Schalter, Display, Schiebetür, Lichtschranke und Getränkeautomat. Der Schalter ist direkt mit der zentralen Kontrolleinheit verbunden, wobei die übrigen Komponenten über einen Bus mit der zentralen Kontrolleinheit kommunizieren. Die Lichtschranke hat weiterhin einen Sensor, der erkennt, ob die Lichtschranke unterbrochen wird. Die Schiebetür bedient sich einer Motorcontrol-Einheit, die den linken (Motor_L) und den rechten Motor (Motor_R) der Schiebetür ansteuert. Die n -bit breiten Wires beschreiben die Kodierung eines Getränks, welche der Getränkeautomat interpretiert. Zur Bestimmung des Wertes n lösen Sie zunächst Projekt 2.2 a).

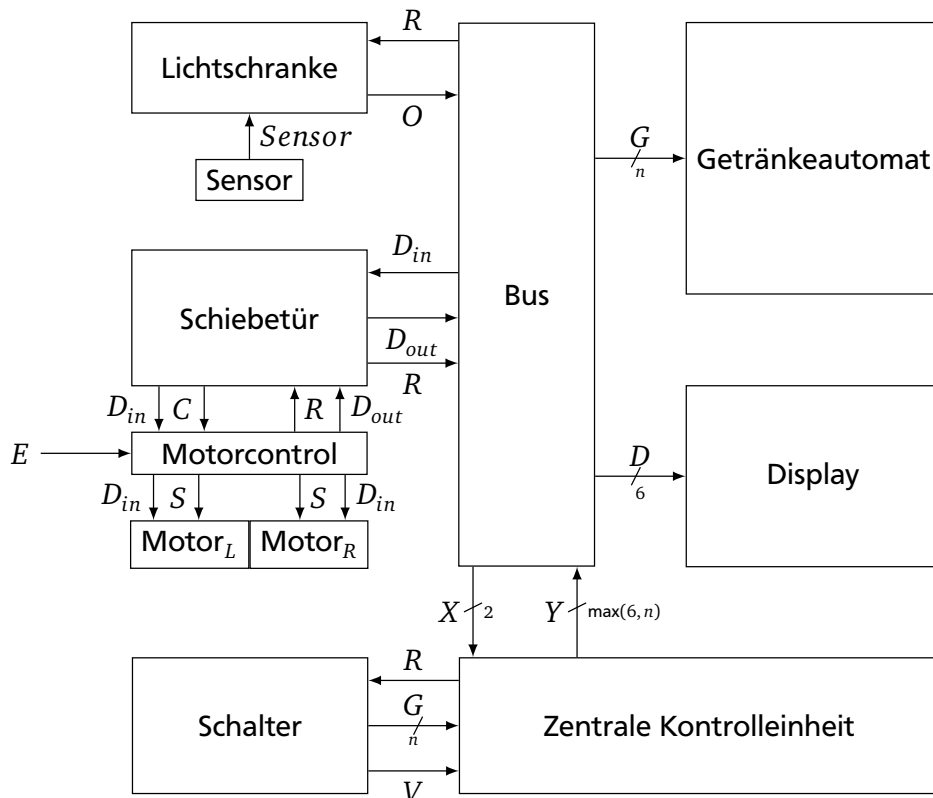


Abbildung 1: Architektur des kontrollierten Einlasssystems.

Im ersten Teil des Projekts haben Sie bereits einen Dekodierer für das Display entwickelt. In diesem Teil des Projekts sollen Sie digitale Schaltungen für die Schiebetür und die Lichtschranke entwerfen (Projekt 2.1), eine Pipeline für den Getränkeautomaten erstellen (Projekt 2.2), einen Zustandsautomaten für die zentrale Kontrolleinheit definieren (Projekt 2.3), sowie eine digitale Schaltung für den Bus erstellen, der als Kommunikationsschnittstelle für die übrigen Komponenten dient (Projekt 2.4).

Projekt 2.1 Schiebetür (8 PP)

In dieser Aufgabe sollen Sie digitale Schaltungen für die Schiebetür und die zugehörige Lichtschranke designen, und dafür in jeder Teilaufgabe einen Schaltplan zeichnen. Beides sind getrennte Komponenten, die jeweils an den Bus angeschlossen sind. Die Schiebetür wird mit zwei Schrittmotoren betrieben, einen für die rechte und einen für die linke Tür. Sobald ein Ticket gescannt und vom Kontrollsystem als valide identifiziert wird, soll sich die Schiebetür öffnen. Sobald die Lichtschranke unterbrochen wird, soll die Tür wieder geschlossen werden.

Hinweis: Sie müssen an dieser Stelle nicht die Kommunikation mit dem Bus beachten, d.h., Sie dürfen davon ausgehen, dass die Eingänge stets valide sind.

- Entwerfen Sie zunächst eine digitale Schaltung für die Kontrolleinheit der Lichtschranke. Diese enthält den Eingang *Sensor*, der direkt an den Sensor angeschlossen ist. Der Sensor gibt eine logische 1 aus, wenn die Lichtschranke unterbrochen ist und eine 0, wenn dies nicht der Fall ist.

Die Kontrolleinheit der Lichtschranke hat einen Ausgang zum Bus, der mit *O* gekennzeichnet wird, und einen Eingang vom Bus, den wir mit *R* bezeichnen. Am Ausgang *O* soll eine logische 1 anliegen, sobald ein gültiges Passieren eines Kunden erkannt wird. Ein gültiges Passieren findet genau dann statt, wenn die Lichtschranke für mindestens 3 Takte unterbrochen ist und anschließend für 3 Takte ununterbrochen bleibt.

Falls das Lichtschranken-Kontrollsystem ein gültiges Passieren entdeckt, soll solange am Ausgang *O* die 1 ausgegeben werden, bis ein Reset Signal am Eingang *R* anliegt. (2 PP)

- Entwerfen Sie eine digitale Schaltung für die Schiebetür, die folgende Spezifikationen erfüllt. Die Schaltung erhält den Eingang D_{in} vom Bus, der angibt, ob die Tür geöffnet ($D_{in} = 1$) oder geschlossen werden soll ($D_{in} = 0$). Des weiteren hat die Schiebetür 2 Ausgänge zum Bus, die wir mit *R* und D_{out} bezeichnen. *R* ist auf 1 gesetzt, wenn die

Getränk	Rezept
Wasser	(Wasserkühler + Leitsystem) → Pumpe (500ml)
Cola/Orange/Zitrone	(Wasserkühler + Leitsystem) → Pumpe (400ml) → Leitsystem → Pumpe (100ml)
Tee	(Wasserkocher + Leitsystem) → Pumpe (500ml)
Kaffee	Wasserkocher + Leitsystem + (Kaffeemühle → Aufgusschub ($P = 1$)) → Pumpe (500ml) → Aufgusschub ($P = 0$)
Cappuccino / Latte Macchiato	Wasserkocher + Leitsystem + (Kaffeemühle → Aufgusschub ($P = 1$)) → Pumpe (250 ml) → Aufgusschub ($P = 0$) → Milchpumpe (250 ml)

Tabelle 1: Rezepte der Getränke des Getränkeautomaten. Jedes Rezept beginnt mit dem Becherauslass sowie der Nutzung des Leitsystems vom Wassertank zum Auslass (dies kann auch parallel passieren). Gewünschte Zusätze (Zucker- und Eiswürfelbereiter) können jederzeit parallel dem Getränk hinzugegeben werden (Voraussetzung: Der Automat hat bereits einen Becher ausgelassen). Die Notation "Wasserkocher + (Kaffeemühle → Aufgusschub ($P = 1$))" bedeutet, dass der Wasserkocher parallel zur Kaffeemühle und dem Aufgusschub verwendet werden darf - diese Komponenten sind unabhängig voneinander.

Schiebetür eine finale Position erreicht hat, d.h. komplett geöffnet oder geschlossen ist. D_{out} hingegen gibt an, in welcher finalen Position sich die Schiebetür befindet (1 = offen, 0 = geschlossen).

Für diesen Teil der Schiebetür haben Sie zunächst Zugriff auf einen *Motorcontrol*-Chipbaustein (vgl. Abbildung 1), der sich um die Kontrolle der Schrittmotoren kümmert. Dieser erhält die beiden Eingänge D_{in} und C , sowie die beiden Ausgänge R und D_{out} . Die Ausgänge haben dieselbe Funktion wie die gleichnamigen Ausgänge der kompletten Schiebetür. Wie zuvor gibt der D_{in} -Eingang an, ob die Tür geöffnet (1) oder geschlossen (0) werden soll.

Der C -Eingang wird auf 1 gesetzt, wenn die Schiebetür die am Eingang D_{in} angegebene Richtung anfahren soll. C soll dabei nur für einen Takt auf 1 gesetzt werden und auch nur, wenn sich die Richtungsanweisung, die vom Bus-Eingang D_{in} kommt, ändert. Beachten Sie, dass sich die Richtung während der Bewegung ebenfalls ändern kann. (1 PP)

- c) Abschließend sollen Sie eine digitale Schaltung für den *Motorcontrol*-Chipbaustein entwerfen, den Sie in Ihrer Schaltung aus Teilaufgabe b) verwendet haben. Dieser Chipbaustein soll die Motoren steuern, um die Tür zu öffnen und zu schließen. Verwenden Sie dazu einen *Motor*-Chipbaustein, der die beiden Eingänge S und D_{in} hat (vgl. Abbildung 1). Der Schrittmotor hat insgesamt 512 Positionen, wobei die Tür sich bei Position 0 im geschlossenen und bei Position 511 im offenen Zustand befindet (für beide Türen). Wenn der Eingang S des *Motor*-Chipbausteins 1 ist, dann bewegt sich der Motor innerhalb eines Taktes um einen Schritt in die an D_{in} angegebene Richtung.¹ Bezeichnen Sie den *Motor*-Chipbaustein für die linke Tür mit $Motor_L$ und den für die rechte Tür mit $Motor_R$. Achten Sie darauf, dass der Motor niemals über die angegebenen Schritsstufen hinaus angesteuert wird. Sie können davon ausgehen, dass sich die Motoren initial an Position 0 (Tür geschlossen) befinden. Zusätzlich zu den genannten Eingängen hat der *Motorcontrol*-Chipbaustein einen *EMERGENCY*-Eingang E , der bei einem Notfall auf 1 gesetzt ist und die Tür sofort anhält. Der Betrieb geht erst weiter, sobald E wieder auf 0 gesetzt ist. (5 PP)

Projekt 2.2 Getränkeautomat (10 PP)

In dieser Aufgabe sollen Sie den Getränkeautomaten planen und Teile davon konstruieren.

- a) Der Getränkeautomat bietet 0,5l Getränke in verschiedenen Varianten an, deren Zubereitungen in Tabelle 1 beschrieben sind. Neben Wasser gibt es die Geschmacksrichtungen Cola, Orange und Zitrone, die zu 20 % aus Sirup besteht. Die drei Geschmacksrichtungen gibt es auch als zuckerlose Alternative. Auf Wunsch kann der Kunde diese kalten Getränke mit Eiswürfeln bestellen.

Neben kalten Getränken bietet der Automat auch Kaffee, Latte Macchiato, Cappuccino und Tee an. Latte Macchiato und Cappuccino enthalten von der Rezeptur her 50 % aufgeschäumte Milch. Zur Vereinfachung nehmen Sie an, dass zunächst der Kaffee und im Anschluss die aufgeschäumte Milch ausgelassen wird. Auf Wunsch kann ein heißes Getränk mit Zucker angereichert werden.

¹ Dies ist eine stark vereinfachte Steuerung eines Schrittmotors. Normalerweise müsste man noch physikalische Parameter wie die Beschleunigung des Motors berücksichtigen.

Name	t_{pd}	Eingänge	Ausgänge	Beschreibung
Leitsystem	370 ms	St, S	R	Das Leitsystem lenkt die Flüssigkeitszufuhr vom Quelleingang $S \in \{00, 01, 10, 11\}$ zum Auslass wenn am Eingang St eine logische 1 anliegt. Als Quelle kann der Wassertank sowie Cola-, Orangen- und Zitronensirup gewählt werden. Wenn der Prozess abgeschlossen ist, liegt am Ausgang R eine logische 1 an.
Pumpe	14 ms/ml	St, M	R	Die Pumpe pumpt die via Eingang M in ml angegebene Menge Flüssigkeit durch das Leitsystem, sobald am Eingang St eine logische 1 anliegt. Der Ausgang R wird auf eine logische 1 gesetzt, sobald der Pumpvorgang abgeschlossen ist.
Eiswürfelbereiter	120 ms	St	R	Der Eiswürfelbereiter lässt Eiswürfel in den Becher, sobald am Eingang St eine logische 1 anliegt. Wenn der Vorgang abgeschlossen ist, liegt am Ausgang R eine logische 1 an.
Becherauslass	400 ms	St	R	Der Becherauslass lässt einen Becher aus, wenn am Eingang St eine logische 1 anliegt. Am Ausgang R liegt eine logische 1 an, sobald der Vorgang abgeschlossen ist.
Wasserkocher	3,5 s	St	R	Der Wasserkocher kocht das Wasser im Wassertank, wenn am Eingang St eine logische 1 anliegt. Sobald der Vorgang abgeschlossen ist, liegt am Ausgang R eine logische 1 an.
Wasserkühler	9 s	St	R	Der Wasserkühler kühlt das Wasser auf 7 °C, wenn am Eingang St eine 1 anliegt und gibt am Ausgang R eine 1 aus, wenn er damit fertig ist.
Milchpumpe	18 ms/ml	St, M	R	Die Milchpumpe pumpt die am Eingang M in ml angegebene Menge aufgeschäumte Milch vom Milchbehälter zum Auslass, sobald am Eingang St eine logische 1 anliegt. Am Ausgang R wird eine logische 1 ausgegeben, wenn der Vorgang abgeschlossen ist.
Zuckerbereiter	230 ms	St	R	Der Zuckerbereiter lässt eine Portion Zucker zum Auslass, wenn am Eingang St eine logische 1 anliegt. Sobald der Vorgang abgeschlossen ist, liegt am Ausgang R eine logische 1 an.
Kaffeemühle	2,3 s	St	R	Die Kaffeemühle mahlt eine Portion Kaffeebohnen in den Kaffeeaufguss, sobald am Eingang St eine logische 1 anliegt. Sobald der Vorgang abgeschlossen ist, liegt am Ausgang R eine logische 1 an.
Aufgusschub	310 ms	St, P	R	Der Aufgusschub bewegt den Kaffeeaufguss zwischen Kaffeemühle ($P = 0$) und dem Flüssigkeitsauslass ($P = 1$), wenn am Eingang St eine logische 1 anliegt. Sobald der Vorgang abgeschlossen ist, liegt am Ausgang R eine logische 1 an.

Tabelle 2: Liste der einzelnen Komponenten des Getränkeautomaten.

Definieren Sie eine Kodierung, die alle Getränkekonfigurationen abdeckt. Existieren in Ihrer Lösung Codes, die ein ungültiges Getränk kodieren. Wenn ja, nennen Sie diese und beschreiben Sie, wofür sie alternativ sinnvoll verwendet werden könnten. (2 PP)

- b) In dieser Aufgabe sollen Sie eine zweistufige Pipeline mit maximal möglicher Taktfrequenz entwerfen. Die Pipeline nimmt als Input die Getränkekodierung aus Teilaufgabe a) an und gibt ein einzelnes Signal mit Wert 1 aus, wenn das Getränk fertiggestellt ist. Achten Sie darauf, dass das Wasser für heiße Getränke aufgeheizt wird und das Wasser für kalte Getränke abgekühlt ist. Für den Entwurf der Pipeline stehen Ihnen alle in Tabelle 2 gelisteten Komponenten zur Verfügung. Verwenden Sie die Komponenten so sparsam wie möglich. Die R -Ausgänge der Komponenten werden nach jedem Takt wieder auf 0 zurückgesetzt. Sobald der St Eingang einer Komponente gesetzt wurde, müssen Sie nicht dafür sorgen, dass der St Eingang nach Fertigstellung wieder auf eine 0 zurückgesetzt wird. Gehen Sie zur Vereinfachung außerdem davon aus, dass die Wasser-/Sirup-/Milchtänke jederzeit gefüllt sind und Becherstau oder sonstigen Störungen in Ihrer Lösung nicht abgefangen werden müssen. (8 PP)

Hinweis: Überlegen Sie zunächst, welche Getränke die längste Zubereitungszeit haben und leiten Sie daraus ab, welche Komponenten Sie in welchen Pipelineinstufen verwenden. Es kann sinnvoll sein, einen Dekodierer (ähnlich zu Projektaufgabe 1.3) zu entwerfen (inklusive Schaltung), der am Anfang der ersten Pipelineinstufen die Getränkekodierung nimmt und daraus verschiedene Flags berechnet, die die Kontrolle der Getränkezubereitung vereinfachen (z.B. könnte man einen Ausgang des Dekodierers auf 1 setzen, sofern ein heißes Getränk zubereitet wird). Für eine korrekte Lösung benötigen Sie neben den in Tabelle 2 gelisteten Komponenten in jedem Fall kombinatorische Logik, um nur die tatsächlich benötigten Komponenten anzusprechen, sowie um auf die Fertigstellung vorheriger Komponenten zu warten (jeweils gesetzter R Ausgang der Komponente).

Projekt 2.3 Zentrale Kontrolleinheit (9 PP)

In dieser Aufgabe entwerfen Sie die zentrale Kontrolleinheit für das System. Diese ist am Bus mittels der Eingänge X_0, X_1 und Ausgänge Y_0, \dots, Y_{n-1} angeschlossen. Von der zentralen Kontrolleinheit erhält der Bus für jede Komponente, an die er angeschlossen ist, bis zu zwei weitere Steuersignale, die nicht auf dem Schaltplan im Prolog eingezeichnet sind und angeben, ob die jeweilige Komponente senden oder empfangen soll (oder nichts von beidem, wenn beide Signale aus sind). Benennen Sie diese Ausgänge C_{in}, C_{out} für die Kontrolleinheit, A_{in} für das Display, S_{in}, S_{out} für die Schiebetür, L_{in}, L_{out} für die Lichtschranke, und G_{in} für den Getränkeautomaten. Hierbei wird das in -Signal der jeweiligen Komponente auf eine logische 1 gesetzt, wenn die Komponente Daten vom Bus empfangen soll und das out -Signal, wenn die Komponente Daten senden soll.

Der Schalter, bei dem die Kunden ihr Ticket scannen, ist direkt an die Kontrolleinheit angeschlossen. Dieser erhält als Eingang ein Signal R , das angibt, wenn der nächste Kunde sein Ticket scannen darf. Ein Ausgang V gibt an, wenn ein Ticket vom Kunden erfolgreich gescannt wurde und die Seriennummer im System hinterlegt ist. Darüber hinaus wird ebenfalls die Kodierung G_0, \dots, G_{n-1} vom Schalter ausgegeben, welche das gewünschte Getränks angibt, das an den Getränkeautomaten weitergegeben werden soll.

Der Ablauf des Kontrollsystems ist wie folgt:

1. Initialer Zustand: Es werden keine Daten über den Bus gesendet und die maximale Teilnehmeranzahl wird auf 50 Personen gesetzt. Diese Zahl wird bereits auf dem Display angezeigt.
2. Sofern noch Besucher passieren dürfen, wartet das Kontrollsystem auf das V -Signal des Schalters, welches ein gültiges Scannen symbolisiert. Am Eingang G ist der Getränkewunsch kodiert.
3. Der Getränkewunsch wird an den Getränkeautomaten weitergereicht.
4. Die Schiebetür öffnet sich.
5. Sobald die Schiebetür komplett geöffnet wurde, wartet das Kontrollsystem auf eine Lichtschrankenunterbrechung. Falls sich die Bewegungsrichtung der Schiebetür unerwartet ändert, liegt ein Systemfehler vor und das System fährt herunter.
6. Sobald die Lichtschranke unterbrochen wurde, wird diese zurückgesetzt und die Tür schließt sich. Auch hier gilt wieder, dass das System herunterfährt, wenn sich die Bewegungsrichtung der Schiebetür unerwartet ändert.
7. Sobald die Tür geschlossen wurde, wird die Anzeige auf dem Display aktualisiert und der nächste Besucher darf passieren. Übergeben Sie die anzuzeigende Zahl an die Display Komponente.

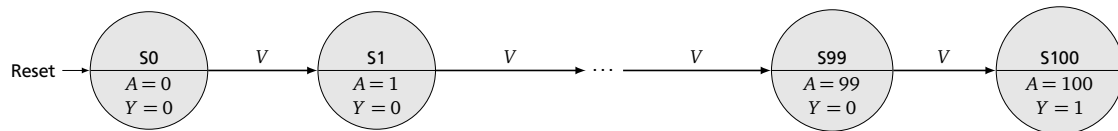


Abbildung 2: Beispiel zum Abkürzen einer Kette von Zuständen, die identisch / sehr einfach nachvollziehbar aufgebaut sind.

Sie müssen für **alle** Komponenten die korrekten Eingänge/Ausgänge am Bus setzen, wie sie in den vorherigen Aufgabenstellungen erklärt wurden.

Aufgabe: Entwerfen Sie das **FSM-Diagramm eines Moore-Automaten**, der das zentrale Kontrollsystem wie oben beschrieben umsetzt. Die Ausgänge des Automaten sind die Steuersignale zum Bus (hier genügt es, nur die Ausgänge aufzulisten, die auf 1 gesetzt sind) sowie die Nachricht Y, die in den Bus geschickt wird. Stellen Sie den Zustand “System fährt herunter” mit einem Fehlerzustand dar, der alle Ausgänge auf 0 setzt und keine Folgezustände besitzt. Sie dürfen eine Kette von Zuständen mit Punkten abkürzen, wenn alle Zustände in der Kette dieselben Zustandsübergänge und ähnliche Ausgänge haben (vgl. Abbildung 2). Die Zustände, die den Anfang und das Ende der Kette bilden, müssen in jedem Fall gezeichnet werden. Geben Sie auch die Anzahl der Zustände an, die sie abkürzen. Weiterhin dürfen Sie alle Methoden zur Umsetzung von Zustandsautomaten verwenden, die Sie in der Vorlesung gelernt haben.

Projekt 2.4 Bus (3 PP)

In dieser Aufgabe sollen Sie einen digitalen Schaltplan für den Bus erstellen, der das Display, die Schiebetür, den Getränkeautomaten, die Lichtschranke und die zentrale Kontrolleinheit verbindet.

- Entwerfen Sie einen digitalen Schaltplan für den Bus. Orientieren Sie sich an den Interfaces aus dem Prolog. Achten Sie darauf, dass keine Komponente unnötige Wires erhält (z.B. benötigt die Lichtschranke weniger Daten vom Bus als der Getränkeautomat). Beachten Sie außerdem die zusätzlichen Eingänge, die in Projekt 2.3 beschrieben sind und die bestimmen, welche Komponente empfängt und sendet. (2PP)
- Ihr Schaltplan benötigt jeweils bis zu 2 Signale, um zu steuern, welche Komponente sendet und empfängt. Beschreiben Sie, wie man die Anzahl dieser Kontroll-Bits reduzieren kann. (1PP)

Wir wünschen Ihnen eine besinnliche und erfrischende
Weihnachtszeit! ☺