

Teil III Technische und organisatorische Beschreibung der Untersuchung

5 Laborversuche in der Leistungselektronik an der FHH

Im Fachgebiet „Elektrische Antriebe und Automatisierungstechnik“ der Fachhochschule Hannover wird u.a. die Lehrveranstaltung „Leistungselektronik“ angeboten. Sie setzt sich aus einer Vorlesung und einem Laboratorium zusammen.

Die Laborveranstaltungen werden in Kleingruppenarbeit nach thematischen, inhaltlichen und organisatorischen Vorgaben durchgeführt. Auch die Beurteilungsinstrumente sind weitgehend festgelegt (vgl. Kapitel 5.2 Organisatorischer Ablauf der Laborveranstaltungen und Kapitel 5.4 Beurteilungsinstrumente bei Laborversuchen).

Die Inhalte der Vorlesung und der Laborveranstaltungen entsprechen einander, allerdings ist keine zeitliche Kopplung zwischen den beiden Teilen vorgesehen.

In diesem Kapitel soll nur die ***Technische und organisatorische Beschreibung*** der durchgeführten Untersuchung im Laboratorium folgen.

Die folgenden Teilkapitel sind in vier Bereiche gegliedert:

Im ersten Teil werden allgemeingültige Beschreibungen und Einschätzungen zu der Thematik "Bussysteme" vorgenommen und wesentliche technische Invarianten und Unterschiede aufgezeigt.

In zweiten Teil steht der organisatorische Ablauf der Untersuchung im Blickpunkt. Dabei soll auf den zeitlichen Verlauf in den Studiensemestern und während der konkreten Durchführung eingegangen werden.

Im dritten Teil geht es um die technisch-fachliche Beschreibung der beiden Versuchsanlagen. Dazu gehören u.a. technische Daten, Anlagenbeschreibungen, einzelne konkrete Lernziele und die Laboranleitungen.

Im letzten Teil dieses fünften Kapitels wird dann auf die Beurteilungsinstrumente eingegangen, die einerseits speziell für die Untersuchung eingesetzt wurden, andererseits aber auch generell bei der Beurteilung von Laborleistungen genutzt werden.

5.1 Allgemeines zur Vernetzung mit Bussystemen

Die Bezeichnung "Bussystem" ist ein Kunstwort, das ursprünglich aus dem Englischen stammt. Für den Wortteil "Bus" findet sich in verschiedenen Lexika u.a. folgende Beschreibung: "... mehradrige Sammelleitung, die den Daten- und Informationsaustausch zw. den verschiedenen Funktionseinheiten einer Datenverarbeitungsanlage ermöglicht. Sie verbindet den Ausgang jeder Einheit mit den Eingängen aller übrigen Einheiten."

Als "Bussystem" kann im Allgemeinen die Summe aller Komponenten bezeichnet werden, die diesen Informationsaustausch physikalisch und in Form von "Software" ermöglicht. Als "Feldbussystem" werden Bussysteme bezeichnet, deren Anwendung vorrangig im Feldbereich bzw. in der Feldebene zu sehen ist. Durch die Verbindung von Kommunikationsteilnehmern mit Hilfe eines Bussystems entsteht eine Vernetzung mit unterschiedlichsten Wirkungszusammenhängen und Rückkopplungen.

5.1.1 Einordnung in die Kommunikationshierarchie

Elektronische Informationen werden in allen Bereichen eines modernen Unternehmens ausgetauscht - von der obersten "Chefetage" bis in die unterste Ebene der Produktion. Kommunikationssysteme, insbesondere in der Automatisierungstechnik, sind daher oft sehr umfangreich und leistungsfähig. Sie besitzen in der Regel stark divergierende Eigenschaften, abhängig von ihrem Aufgabengebiet und Einsatzzweck. Dabei hat sich eine Einteilung nach Ebenen, angelehnt an Unternehmensebenen, in der Praxis als sinnvoll erwiesen, vgl. Abb. 5-1.

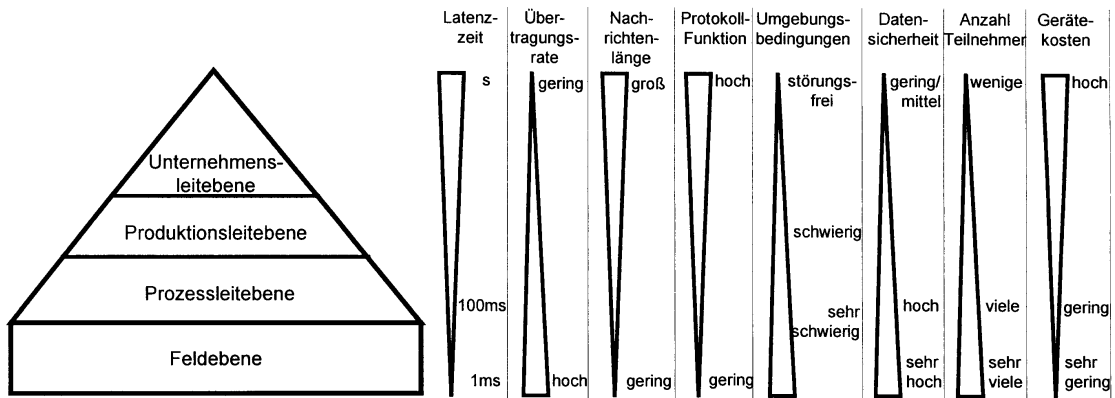


Abbildung 5-1: Ebenenmodell und divergierende Anforderungen in der Automatisierungstechnik

Gemäß der CIM-Idee (Computer Integrated Manufacturing) soll der Informationsfluss ebenenübergreifend stattfinden, d.h. es werden nicht nur innerhalb einer sondern auch zwischen den Ebenen Informationen ausgetauscht.

Den Anwendungsbereich für **Feldbussysteme** stellt vorrangig die Feldebene dar, jedoch finden sich bei neueren Systemen Anwendungen bis in die Prozessleitebene hinein (Busse 1996).

Die Feldebene wird in zahlreichen technischen Beschreibungen auch als Sensor/Aktor-Ebene bezeichnet. Da Sensoren und Aktoren in der gängigen Ebenenhierarchie den untersten Bereich der Automatisierung ausfüllen, ist somit der Begriff "Feldbussystem" nach oben hin weiter gefasst.

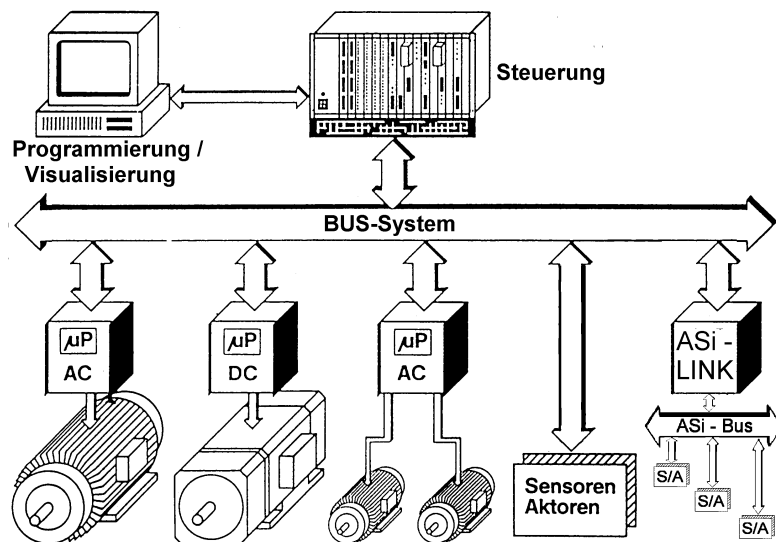


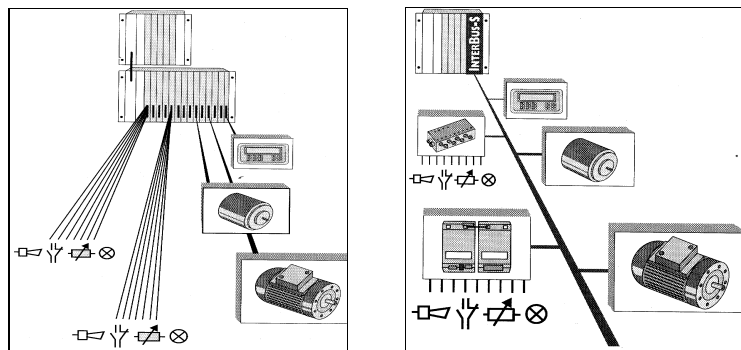
Abbildung 5-2: Feldbuseinsatz zur Antriebsvernetzung (Beispiel: Elektr. Antriebe; einfache Sensoren/Aktoren über ASi)

In der Feldebene findet die eigentliche Steuerung der Produktionsprozesse statt. Informationen werden zwischen der Steuerung, den einzelnen elektrischen Maschinen (über mikroprozessorgesteuerte Umrichter) und einzelnen Sensoren/Aktoren ausgetauscht, vgl. Abb. 5-2.

5.1.2 Feldbussysteme

Vorteile

Feldbussysteme spielen in der Automatisierungstechnik eine zunehmend gewichtige Rolle. Der Einzug der mittlerweile preislich sehr günstig gewordenen Mikroprozessortechnik selbst in die untersten Ebenen der Automatisierung macht den Einsatz von Feldbussystemen immer attraktiver. Die Vernetzung der unterschiedlichen digitalen Komponenten mit ihrer dezentralen Intelligenz bringt erhebliche Einsparungen beim Aufbau, bei der Inbetriebnahme, beim Betrieb der Anlage und bei der Fehlersuche mit sich. Die bei komplexen Automatisierungen zwischen der zentralen Steuerung und den einzelnen Sensoren/Aktoren aus einer Vielzahl von Adern bestehenden Kommunikationsverbindungen werden durch Feldbussysteme physikalisch auf ein Minimum (z.B. zwei oder vier Adern) reduziert, vgl. Abb. 5-3.



a) Parallelverdrahtung

b) Feldbusverdrahtung

Abbildung 5-3: Vergleich Parallelverdrahtung - Feldbusverdrahtung

Parameter- und Prozessdaten der Antriebe können bei Vernetzung schnell von zentraler Stelle angepasst werden; komplette Softwarepakete können ausgetauscht werden. Veränderungen im Betrieb kündigen sich an, bevor es zum Fehlerfall kommt. Im Fehlerfall wird dieser schnell zu lokalisieren sein. Großanlagen sind daher ohne eine Vernetzung mit Feldbussystemen kaum noch denkbar.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Vorteile durch eine Vernetzung mit Feldbussystemen:

- ⇒ schnellerer Aufbau / einfachere Verdrahtung,
- ⇒ vereinfachte Inbetriebnahme,
- ⇒ komfortablere Fehlersuche,
- ⇒ umfangreichere Betriebssteuerung und -beobachtung,
- ⇒ gezieltes Wartungsmanagement.

Invarianten

Die grundlegenden Eigenschaften, Prinzipien und Kennzeichen der Feldbussysteme werden durch ihre Invarianten bestimmt. Invarianten sind system- und herstellerunabhängig für alle Feldbussysteme gleich; sie stellen die Basis für übertragbares technisches Wissen und werden somit zu Schlüsselinhaltungen.

Durch den systematischen Umgang der Lernenden mit diesen Invarianten am Beispiel eines bestimmten Feldbussystems (in der Untersuchung: InterBus-S), wird es möglich, das erworbenen Fachwissen auch auf andere Feldbussysteme (in der Untersuchung: Profibus und ASi) zu übertragen und dort anzuwenden.

Die wichtigsten Invarianten der Feldbustechnologie sind:

- Datenarten
- Topologischer Aufbau
- Zugriffsverfahren
- Echtzeitverhalten
- Telegrammaufbau
- Schnittstellen/Links
- Störungsmanagement

Im Folgenden werden diese Invarianten kurz vorgestellt.

Datenarten

Ein Bussystem in der untersten Ebene der Automatisierungspyramide soll in schneller zeitlicher Folge kleine Datenmengen zwischen den einzelnen Teilnehmern (z.B. Antrieben, Sensorik, Aktorik und Steuerung) digital übertragen. Die Kommunikation

soll echtzeitnah sein und eine feste kürzeste und längste Antwortzeit garantieren.

Grundsätzlich werden zwei unterschiedliche Datenarten verarbeitet:

- (1) zeitkritische Daten → *Prozessdaten*
- (2) zeitunkritische Daten → *Parameterdaten*

Zu den zeitkritischen Daten werden **Prozessdaten** wie z.B. Lage, Drehzahl, Drehmoment, Reglerfreigabe und Störinformationen gezählt. Sie bestehen in der Regel nur aus kleinen Datenmengen.

Um deutlich größere Datenmengen handelt es sich bei den zeitunkritischen Informationen. Sie bestehen nicht selten aus einer Vielzahl von Parametern und werden zur Parametrierung, Inbetriebnahme, Überwachung und Optimierung übertragen. Diese Daten werden unter den Begriff **Parameterdaten** zusammengefasst.

Um echtzeitnahe Eigenschaften zu ermöglichen und beide Datenarten in der Feldbusebene übertragen zu können, wurden von verschiedenen Herstellern unterschiedliche Übertragungskonzepte entwickelt und eingesetzt (vgl. Kapitel 5.3.1.1 Technische Daten zum InterBus-S und Kapitel 5.3.2.1 Technische Daten zum Profibus DP und ASi).

Topologischer Aufbau

Die Datenpakete für den Informationsaustausch zwischen Leitsystemen und den einzelnen Teilnehmern werden *Telegramme* genannt. Die Verabredung über den Telegrammaufbau ist im *Protokoll* des Systems festgelegt. Im Minimalfall gehören zu einem System ein Master (M) und ein Slave (S).

Bei mehreren Mastern im System bekommt zur Zeit immer nur ein Master die höchste Priorität, um seine Kommunikation durchzuführen. Die Art der Verbindung zwischen Master und Slave kann eine Linie, ein Ring oder ein "Baum" sein, vgl. Abb. 5-4.

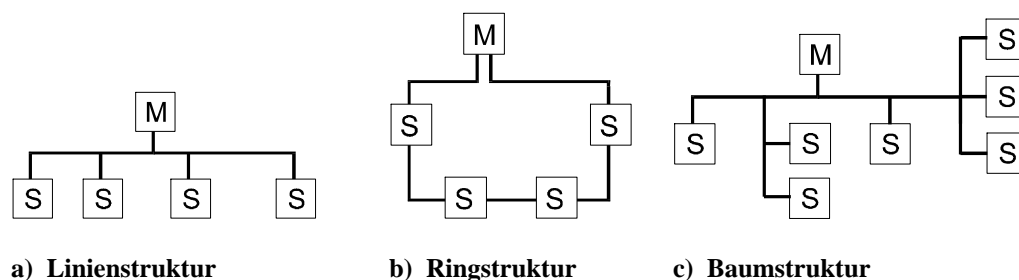


Abbildung 5-4: Bus-Topologie (M: Master, S: Slave)

Zugriffsverfahren

In solchen Systemen tauschen mindestens zwei Teilnehmer Informationen - Telegramme - aus und greifen dabei auf den Bus zu. Die Teilnehmer unterscheiden sich dabei in der Rangfolge ihrer Aktivitäten beim Buszugriff in *Master* und *Slave*.

Dabei sind

- **Master:** Busteilnehmer, die eigenständige Aktionen auf dem Bus starten können,
- **Slaves:** Busteilnehmer, die nur auf Anforderung eines Masters eine Aktion durchführen und geforderte Antworten zum Master zurückschicken können.

Der Master ist das zentrale steuernde Element des Busses. Er versorgt die Slaves zyklisch mit Daten und fordert von ihnen Daten an. Slaves können untereinander nicht direkt, sondern nur indirekt über den Master Daten austauschen. Das Zugriffsverfahren, wie Feldbusteilnehmer Daten über den Master austauschen, wird entsprechend bei nur einem Master (Monomaster) als *Master-Slave-Verfahren* bezeichnet; bei mehreren Mastern im System wird es demnach als *Multimaster-Verfahren* bezeichnet (Brosch 1999).

Bei einem Bus mit Monomaster-System existiert nur ein Master, aber ein oder mehrere Slaves. Einfache Sensoren oder Aktoren arbeiten am Bus typischerweise als Slaves. Der Datenaustausch zwischen den einzelnen Slaves erfolgt nur über den Master.

Reaktionszeiten lassen sich in solchen Systemen relativ einfach bestimmen. Typische Vertreter von Feldbussystemen mit Master-Slave-Zugriffsverfahren sind der *InterBus-S* und der *Profibus-DP*.

Im Multimaster-System können mehrere Teilnehmer als Master aktiv auf den Bus zugreifen. Dadurch können die einzelnen Teilnehmer direkt untereinander Daten austauschen. In einem solchen Multimaster-System sind bei der Bestimmung der Reaktionszeiten alle Master einzubeziehen. Ein typischer Vertreter mit Multimaster-Zugriffsverfahren ist der CAN-Bus mit dem CANOpen-Profil.

Echtzeitverhalten

Das Zugriffsverfahren entscheidet auch über die Echtzeitfähigkeit eines Busses (Reißenweber 1998). Ein typischer Vertreter eines echtzeitfähigen Systems ist der

InterBus-S. Seine Übertragungszeit ist durch den physikalischen Aufbau und die Übertragungsgeschwindigkeit eindeutig determiniert.

Telegrammaufbau

Zu übertragende Daten werden eingerahmt mit Start- und Endekennung, mit Adressinformationen zur Auswahl des Empfängers, mit Controlbits und mit redundanten Prüfbits (Reißenweber 1998). Der Telegrammaufbau besteht im Prinzip immer aus den gleichen Datenelementen, die jedoch abhängig vom Zugriffsverfahren und der Datenart unterschiedlich ausgeprägt sind (vgl. dazu Kapitel 5.3.1.1 Technische Daten zum InterBus-S und Kapitel 5.3.2.1 Technische Daten zum Profibus DP und zum ASi).

Schnittstellen/Links

Um Informationen, die innerhalb einer lokalen Automatisierungsanlage zyklisch ausgetauscht werden, an andere, parallele oder übergeordnete Systeme zu übertragen, sind Schnittstellen (Links) erforderlich. Nahezu jede Visualisierung, z.B. von Anlagenzuständen an einer zentralen Kontrollstelle, ist nur mit Hilfe von Datenlinks realisierbar. Datenlinks konvertieren busspezifische Informationen in andere spezifische Datenformate (z.B. RS232C).

Störungsmanagement

Die häufigste Ursache für Störungen in der Datenübertragung sind elektromagnetische Felder. Die durch die Fremdfelder auf den Leitungen induzierten Spannungen und Ströme überlagern das Nutzsignal. Andere Störungsursachen sind Kurzschlüsse oder Leitungsunterbrechungen. Wie ein Feldbussystem im Einzelnen auf auftretende Störungen reagiert (Sendewiederholung, Fehlerortung etc.), wird als Störungsmanagement bezeichnet.

5.1.3 Aktuelle Entwicklungen

Auf dem internationalen Markt für Automatisierungstechnik haben sich zahlreiche Feldbussysteme mit unterschiedlichen Marktanteilen etabliert.

In Europa sind dies in erster Linie folgende Systeme (in alphabetischer Reihenfolge):

- CAN-Bus
- InterBus-S
- LONWORKS
- Profibus (FMS/DP/PA)
- SERCOS

Die größte Verbreitung - dies geht aus zahlreichen Veröffentlichungen und Umfragen in Fachkreisen hervor - haben dabei die Systeme *InterBus-S* und *Profibus* (Gruhler 1997).

Dieser Tatsache wurde auch in der durchgeführten Untersuchung Rechnung getragen. Die Entscheidung der Frage, welche Feldbussysteme als konkrete Lernträger eingesetzt werden sollten, fiel auf die beiden meist verbreiteten Systeme (vgl. auch Kapitel 4.2 Bussysteme als Lernträger).

5.2 Organisatorischer Ablauf der Laborveranstaltungen

In diesem Teil der Beschreibung soll auf den organisatorischen und zeitlichen Ablauf der Untersuchung eingegangen werden. Er gliedert sich in zwei Punkte: zum einen soll der Untersuchungsverlauf im groben Rahmen der Semesterplanungen dargestellt, zum anderen soll der detaillierte zeitliche Verlauf während der konkreten Durchführung der Laborversuche erläutert werden.

5.2.1 Grobzeitplanung im Semester

Abgesehen von allen Vorbereitungsarbeiten (u.a. Entwicklung und Realisierung der Laboraufbauten), erstreckte sich die reine Untersuchung über einen Zeitraum von insgesamt zwei Semestern. Der erste Teil der Untersuchung wurde mit 14 Studenten des Sommersemesters 1998 durchgeführt, der zweite Teil folgte im Wintersemester 1998/99 mit 10 Studenten.

Im Rahmen der Lehrveranstaltung "Laboratorium für Leistungselektronik" wurden von den Studenten sechs unterschiedliche Themengebiete in Form einer Labordurchführung bearbeitet (vgl. Tabelle 5-1). Die sechs Laborversuche lauten:

Tabelle 5-1: Die sechs Versuche im Laboratorium für Leistungselektronik

Nr.	Thema	Kurztitel
1	Antriebsvernetzung und Prozessvisualisierung mit InterBus-S	IBUS
2	Automatisierungsanlage mit PROFIBUS- und ASi-Vernetzung	PROFI
3	Frequenzumrichter-Vergleich	F1
4	Leistungsfluss bei einem 4-Q-Gleichstromantrieb	4Q
5	Drehzahlverstellbarer Lüfterantrieb mit Drehstromsteller oder FU	L1
6	FU-Selbsteinstellung und Reglerparametervergleich	6/1 6/2

Als Termin im Vorlesungsverzeichnis stand bei beiden Untersuchungen der Mittwoch mit jeweils zwei Doppelstunden zu 90 min zur Verfügung (SS98: 1.+2. Doppelstunde; WS98/99: 3.+4. Doppelstunde).

Zu Beginn des jeweiligen Semesters wurden zwei Vorbesprechungen mit allen beteiligten Personen (Studenten, Professoren, Technischen Angestellten) durchgeführt. Die erste Vorbesprechung diente dabei der Einteilung der Gruppen. In beiden Semestern wurden jeweils vier Teilgruppen (I-IV und I^{*}-IV^{*}) gebildet.

In der zweiten Vorbesprechung wurden die vorbereiteten Laboranleitungen - differenziert nach Kontroll- und Experimentalgruppe - ausgeteilt.

Anschließend wurden folgende Themen mit den Lehrenden besprochen:

- organisatorischer Ablauf,
- technisch-fachliche Inhalte der Laborversuche,
- Vorbereitung auf die Laborversuche,
- Versuchsdurchführung,
- Anfertigung der Laborberichte und
- Präsentation der Ergebnisse.

Die Themen wurden in Form einer Vorlesung vorgestellt; die Studenten konnten jederzeit Fragen stellen.

Der Versuch 6 "FU-Selbsteinstellung und Reglerparametervergleich" wurde aus organisatorischen Gründen für alle Gruppen an einem gemeinsamen Termin als

Demonstration durchgeführt. Die Abwicklung aller sechs Laborversuche nahm einen Zeitraum von insgesamt acht bzw. neun Wochen in Anspruch. Die für die Untersuchung relevanten Versuche 1 + 2 (IBUS und PROFI) wurden in einem Zeitrahmen von fünf bzw. sechs Wochen bearbeitet (vgl. Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3).

Tabelle 5-2: Zeitplan der Untersuchung im Sommersemester 1998

Datum	Kontrollgruppen		Experimentalgruppen	
	I	II	III	IV
4.03.98	Vorbereitung 1			
10.03.98	Vorbereitung 2			
11.03.98	6	6	6	6
18.03.98		3	4	5
25.03.98	4	5	3	
1.04.98	1	4	5	
8.04.98	2	1		4
15.04.98		2	1	3
22.04.98	3		2	1
29.04.98	5			2
6.06.98	Vorbereitung zur Präsentation			
13.05.98	Präsentation			

Tabelle 5-3: Zeitplan der Untersuchung im Wintersemester 1998/99

Datum	Kontrollgruppen		Experimentalgruppen	
	I*	II*	III*	IV*
23.09.98	Vorbereitung 1			
29.09.98	Vorbereitung 2			
30.09.98			3	5
7.10.98				1
14.10.98			1	2
21.10.98	5	4	2	3
28.10.98	1	3	4	
4.11.98	2	1	5	4
11.11.98	3	2		
18.11.98	4	5		
25.11.98	6	6	6	6
2.12.98	Vorbereitung zur Präsentation			
9.12.98	Präsentation			

Wie aus den Tabellen 5-2 und 5-3 zu erkennen ist, folgte der Posttest (Versuch 2 PROFI) bei allen Gruppen in einem Abstand von einer Woche auf den Pretest (Versuch 1 IBUS). Dies war eine der Voraussetzungen, um eine ausreichende interne Validität der Untersuchung zu gewährleisten. Die zeitliche Anordnung der anderen vier Versuche (3, 4, 5, 6) erfolgte nach organisatorischen Gesichtspunkten.

Nach der Durchführung der einzelnen Laborversuche folgte ein gemeinsamer Vorbesprechungstermin zur Präsentation. In dieser Veranstaltung wurden Hinweise zur Vorbereitung und Durchführung der Abschlusspräsentation gegeben.

Den Abschluss der Semesterveranstaltung bildete die Präsentation, in der die Ergebnisse und Erkenntnisse der einzelnen Laborversuche von den Gruppen vor einem Auditorium vorgestellt wurden (vgl. auch Kapitel 5.4.1.2 Präsentationen).

Abgabetermin für die Laborberichte war der Tag der Präsentation.

5.2.2 Zeitplanung während der Durchführung

Für die Durchführung der einzelnen Laborversuche stand ein Zeitraum von zwei Doppelstunden zu 90 min zur Verfügung.

Der konkrete Ablauf stellte sich folgendermaßen dar (vgl. Tabelle 5-4):

Tabelle 5-4: Ablauf eines einzelnen Laborversuches (IBUS oder PROFI)

Versuchsabschnitt	Handlungen	benötigte Zeiten (ca.)
1	Begrüßung und Vorstellung durch den Technischen Angestellten (Lernhelfer) und den Untersuchungsleiter (Beobachter)	5 min
2	Kurzinformationen zum Laborversuch und zur Untersuchung durch den Technischen Angestellten	10 min
3	Interview zu den Erwartungen der Teilnehmer durch den Untersuchungsleiter	10 min
4	Durchführung des Laborversuchs <ul style="list-style-type: none"> - Protokollierung des Versuchs durch die Teilnehmer - nichtteilnehmende strukturierte Beobachtung durch den Untersuchungsleiter - Betreuung durch den "Lernhelfer" - integrierte optionale Pausen 	max. 140 min
5	Bearbeitung der Fragebögen	15 min

S max. 180 min

Der gesamte Zeitraum der Versuchsdurchführung wurde von dem Technischen Angestellten in seiner Funktion als Lernhelfer kontinuierlich begleitet; er stand jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung.

Versuchsabschnitt 1: In diesem Versuchsabschnitt machten sich die beteiligten Personen miteinander bekannt.

Versuchsabschnitt 2: In diesem Teil wurden einerseits technisch-fachliche Informationen zum Versuchsaufbau, andererseits Informationen zur Untersuchung und deren Intention gegeben. U.a. wurde kurz die Rolle des Lernhelfers beschrieben.

Die Versuchspersonen wurden jedoch **nicht** darüber informiert, dass z.B. eine Aufteilung in KG und EG vorgenommen wurde oder dass sich die Laborumgebungen in ihrem Öffnungsgrad unterscheiden. Ihnen wurde lediglich mitgeteilt, dass es sich bei der Untersuchung um eine allgemeine Maßnahme zur Verbesserung der Lehre handelt.

Versuchsabschnitt 3: Vor der eigentlichen Durchführung der Laborversuche wurden die Teilnehmer anhand der vorgegebenen Fragen auf den Beobachtungsbögen durch den Untersuchungsleiter zu ihren Erwartungen befragt.

Versuchsabschnitt 4: Während der Durchführung der Laborversuche hatten die Teilnehmer die Möglichkeit, sich an den Laboranleitungen zu orientieren. In der ersten Phase differierten die Laboranleitungen der KG (geschlossen: IBUS) und der EG (geöffnet: IBUS*). In der zweiten Phase waren die Laboranleitungen identisch (PROFI). Die Teilnehmer hatten die Aufgabe, ein Versuchsprotokoll anzufertigen (dies erweist sich seit mehreren Jahren als sehr sinnvoll, da eine Protokollierung des Ablaufs für die spätere Anfertigung des Laborberichtes hilfreich ist). Zeitgleich wurden die Probanden einer nichtteilnehmenden strukturierten Beobachtung durch den Untersuchungsleiter unterzogen. Die Betreuung durch den Technischen Angestellten

als "Lernhelfer" verlief ebenfalls zeitgleich. In Absprache mit den Teilnehmern konnten individuelle Pausen vereinbart werden.

Versuchsabschnitt 5: Abschließend wurden die vorbereiteten Fragebögen ausgeteilt und von den Probanden bearbeitet. Der Untersuchungsleiter stand für eventuelle Fragen zu den Bögen zur Verfügung.

Die tatsächlich benötigten Bearbeitungszeiten für die Versuche IBUS und PROFI variierten in einem Bereich von 60 bis 132 min erheblich. Die genaue Zeitanalyse befindet sich in der Auswertung zur Untersuchung im Kapitel 6.1.7 (Bearbeitungszeiten).

5.3 Beschreibung der Laborversuche

In diesem Kapitel werden beide Laborversuche - IBUS und PROFI - beschrieben. In den beiden Versuchsanlagen wird die Grundstruktur eines Bussystems nachgestellt.

Vier Hauptpunkte werden dazu angesprochen:

- allgemeine technische Daten zum jeweiligen Bussystem,
- technische Beschreibung der jeweiligen Versuchsanlagen,
- Lernziele,
- Laboranleitungen zur jeweiligen Anlage.

5.3.1 Laborversuch IBUS

Der Titel "IBUS" zum Laborversuch I stellt eine Abkürzung des Wortes **InterBus-S** dar. Wie schon in vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist der InterBus-S der Firma Phoenix Contact, Blomberg, ein typischer Vertreter der Feldbussysteme. Das Bussystem wird seit 1987 auf dem Markt angeboten und durch die DIN 19258 spezifiziert.

Um eine Kompatibilität und Interoperabilität zu gewährleisten, hat sich ein Club gebildet, der Hersteller und Anwender von InterBus-S-Geräten vereinigt. Der InterBus-S-Club nimmt auch die Zertifizierung von Feldgeräten vor, die vorher vom Fraunhofer Institut Karlsruhe auf Konformität bzw. Interoperabilität geprüft worden sind.

5.3.1.1 Technische Daten zum InterBus-S

Topologie und Buszuteilung

Der Master im System - im konkreten Fall die Anschaltbaugruppe der SPS - kontrolliert die gesamte Kommunikation im Netzwerk. Der InterBus-S benutzt eine Ringtopologie in Verbindung mit einem Summenrahmentelegramm als Übertragungsformat. Die Topologie ist so gestaltet, dass die hin- und rücklaufenden Leitungen in einem Kabel zusammengefasst sind und so eine physikalische Linie bilden. Beim InterBus-S wird

zwischen Fernbus (Remotebus), Peripheriebus (Localbus) und Sensor-Loop unterschieden.

Die Daten werden wie durch ein Schieberegister geschoben, d.h. das Summenrahmentelegramm beginnt und endet am Master.

Sämtliche Ausgangsdaten sind für jeden Teilnehmer im Summenrahmentelegramm (Abb. 5-5) enthalten, und jeder Teilnehmer fügt seine Eingangsdaten an der entsprechenden Stelle ein.

Neben diesen Teilnehmer-Informationen sind in dem Telegramm verschiedene Kontroll- und Prüfbytes enthalten. Außerdem können - bei "intelligenteren" Teilnehmern - gleichzeitig Parameterdaten übertragen werden. Bei der Integration dieser umfangreichen Parameter-Informationen in dieses zyklische E/A-Protokoll muss von der bisherigen Struktur abgewichen werden.

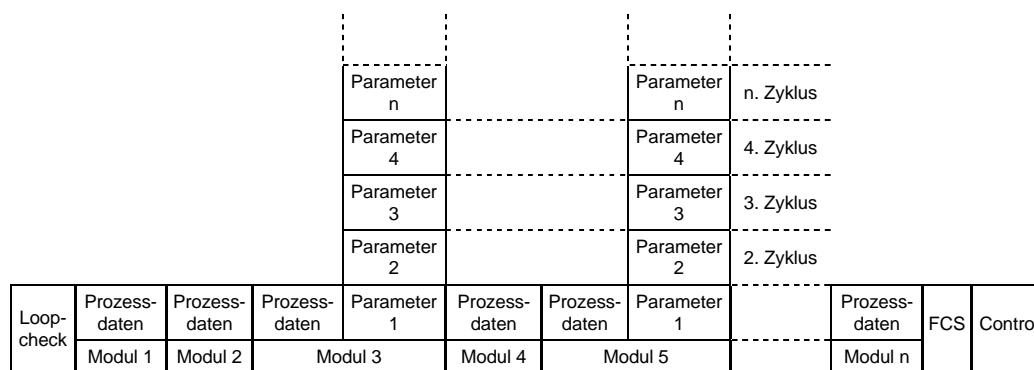


Abbildung 5-5: Summenrahmentelegramm des InterBus-S

Würde man einen Parameterblock parallel in das Protokoll einfügen, so ergäbe sich eine unverhältnismäßige Verlängerung des Gesamttelegramms und damit der Übertragungszeit. Die zeitunkritische Parameter-Information würden durch ihren Umfang das Echtzeitverhalten des Systems für Prozessdaten wesentlich verschlechtern. Aus diesem Grund werden Parameterblöcke nicht parallel sondern sequentiell in das Summenrahmenprotokoll eingefügt. Dies bedeutet, dass ein kompletter Parameterblock in einzelne kurze Informationsteile zerlegt wird, die nacheinander in das zyklische Protokoll eingebracht werden (siehe Abb. 5-5). Parameter belasten dadurch den zyklischen Echtzeittransfer nur so stark wie 16 binäre Prozessinformationen. Durch diese hybride Protokollstruktur ist die gleichzeitige Übertragung von zeitkritischen kurzen Prozessdaten und zeitunkritischen Parametern ohne gegenseitige Beeinflussung möglich. Für die Parameterübertragung benötigt man also mehrere Zyklen; sie erfolgt

nacheinander mit Hilfe der speziellen Protokollsoftware PCP (Peripherals Communication Protocol).

Durch die zyklische Übertragung des Summenrahmentelegramms entsteht einmalig der sogenannte Grundoverhead von 78 Bit für alle Teilnehmer, in dem u.a. Start- und Prüfsequenzen enthalten sind. Bei der 2-Leiter-Übertragung kommt pro Datenbyte 5-Bit-Overhead dazu. Ein Teilnehmer hat die Möglichkeit, Datenmengen zu übertragen, die ein Vielfaches von 8 bzw. 16 Bit enthalten. Im synchronen 8-Leiter-Protokoll werden die Bytes ohne zusätzlichen Overhead übertragen.

Zeitverhalten

Die Dauer des Übertragungszyklus ist proportional zur Anzahl der Datenbytes. Erhöht sich die Anzahl der übertragenen Datenbytes, so verlängert sich proportional auch die Zykluszeit. Der Parameterdatenkanal ist auch vorhanden wenn keine Parameterdaten übertragen werden. Die Zykluszeit ist also unabhängig von dieser Übertragung, d.h. die Zykluszeit ist konstant. Es handelt sich um ein streng deterministisches Verhalten.

5.3.1.2 *Technische Beschreibung der Anlage IBUS*

In diesem Abschnitt soll eine kurze technische Beschreibung des Versuchsstands **IBUS** gegeben werden. Auf detaillierte spezielle Informationen wird verzichtet, da dies den verfügbaren Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Sehr ausführliche Darstellungen und Beschreibungen finden sich in den dazugehörigen Diplomarbeiten (u.a. Schulze/Thiemes 1995). Vielmehr soll an dieser Stelle nur auf die technischen Daten und Eigenschaften eingegangen werden, die in einem direkten Zusammenhang mit der Untersuchung stehen.

Der Versuchstand IBUS stellt im Wesentlichen eine Antriebsvernetzung aus unterschiedlichsten Komponenten dar. Die Vernetzung erfolgt sowohl über einen Fernbus (vier Teilnehmer) als auch über zwei Peripheriebusse (je drei Teilnehmer). Eine Ergänzung durch weitere Vernetzungskomponenten, um eine größer Anlage zu realisieren, ist denkbar.

Alle eingesetzten Komponenten entsprechen dem Industriestandard. Die Anordnung der Geräte wurde nach der Unterteilung *Fernbus*, *Peripheriebus 1* und *Peripheriebus 2* vorgenommen.

Der prinzipielle Aufbau der Anlage ist in Abbildung 5-6 zu erkennen. Deutlich ist zu sehen, dass durch die in einem Kabel zusammengefasste hin- und rücklaufende Datenleitungen das äußere Bild einer physikalischen Linie entsteht.

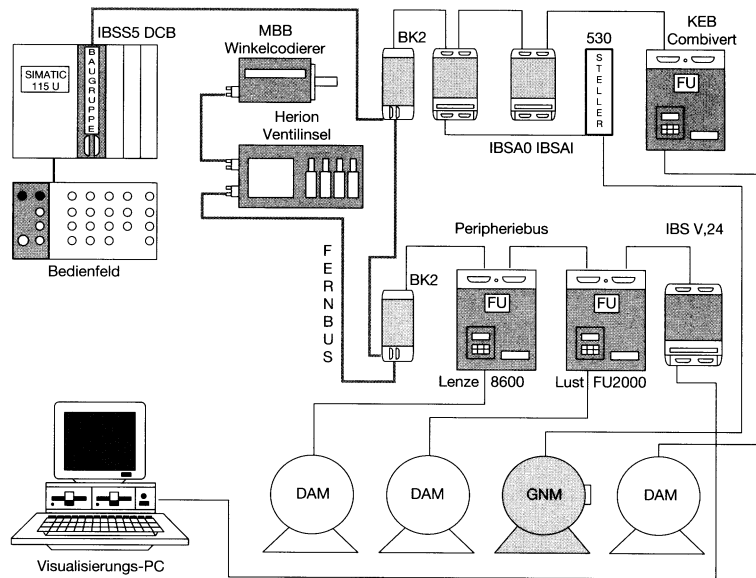


Abbildung 5-6: Prinzipieller Aufbau des Versuchsstands IBUS

Die Anlage besteht aus folgenden Kommunikationsteilnehmern (auf eine Auflistung der einfachen Standardkomponenten, wie z.B. Tastern, Leuchtmeldern, Motoren etc. wird verzichtet):

- SPS mit Anschaltbaugruppe (Master)

Am Fernbus:

- Busklemmen
- Ventilinsel
- Winkelcodierer

Am Peripheriebus 1:

- Analoges Ausgangsmodul(Gleichstromsteller Lenze 533)
- Analoges Eingangsmodul (Gleichstromsteller Lenze 533)
- Frequenzumrichter KEB (Prozessdaten/Parameterdaten)

Am Peripheriebus 2:

- Frequenzumrichter Lenze
- Frequenzumrichter Lust
- V.24-Modul (PC/Visualisierungssoftware)

5.3.1.3 Lernziele zum IBUS

Wie schon in Kapitel 4.5.1.3 (Lernzielorientierung) erläutert, sollten mehrdimensionale Lernziele so formuliert sein, dass sie den Lernenden einen ausreichenden Handlungsspielraum bei der Lernsteuerung bieten. Die Lernziele wurden dementsprechend relativ abstrakt formuliert. Eine weitere Lernzielleduktion in Richtung Feinlernziele wurde deshalb nicht durchgeführt.

Um die Lernprozesse während der Untersuchung genauer beurteilen zu können, wurde eine analytische Trennung der Lernziele in zwei Hauptgruppen vorgenommen:

- (1) *technisch-funktionale* Lernziele und
- (2) *methodisch-problemlösungsorientierte* Lernziele.

Sozialkommunikative Lernziele, die ebenfalls in Verbindung mit der Entwicklung und Förderung von Schlüsselqualifikationen stehen, wie z.B. die Erlangung von Teamfähigkeit, werden an dieser Stelle nicht formuliert (vgl. dazu Kapitel 2.3 Mehrdimensionale Anforderungen).

Die wichtigsten Lernziele zum IBUS sind:

zu (1):

- Entwicklung und Anwendung einer *Bearbeitungsmethode zur Inbetriebnahme* der gesamten Anlage IBUS.
- Entwicklung und Anwendung verschiedener *Bearbeitungsmethoden zur Analyse des Bussystems* InterBus-S in Hinblick auf die physikalische Bustopologie und deren Konsequenzen bezüglich Verdrahtungsaufwand, Verhalten bei Leitungsunterbrechungen, Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischer Einflüsse und der Installationskosten.
- Entwicklung und Anwendung verschiedener *Problemlösestrategien beim Auftreten unterschiedlicher Kommunikationsprobleme* bei der Inbetriebnahme, im Kommunikationsbetrieb und bei der simulierten Leitungsunterbrechung.

zu (2):

- Bewertung der Auswirkungen des *Zugriffsverfahren* im Hinblick auf das Echtzeitverhalten, der Master-Funktionalität, der Slave-Funktionalität und der Systemreaktionszeiten.

- Analyse und Bewertung der *Systemreaktionszeiten* in Abhängigkeit der Variablen: Anzahl der Teilnehmer, Topologie, Zugriffsverfahren, Datenaufkommen und Ausdehnung.
- Analyse und Bewertung des *Datentransports* im Hinblick auf den Telegrammaufbau, die Adressierung und die elektrotechnischen Voraussetzungen.
- Anwendung und Beurteilung einer *Leitungsunterbrechung* im Hinblick auf deren Auswirkungen auf die Funktionalität und die Fehlerortung und -behebung.
- Analyse und Bewertung des *Zusammenspiels* der Komponenten im Hinblick auf deren Wirkungszusammenhänge, z.B. zwischen SPS und Visualisierungs-PC.
- Anwendung und Bewertung verschiedener *Betriebsarten* (Handbetrieb, Automatikbetrieb, Parametrierbetrieb etc.) im Hinblick auf dessen Funktionalität z.B. bei einer Inbetriebnahme.
- Analyse und Bewertung der *Datenarten* Prozessdaten und Parameterdaten im Hinblick auf deren Funktionalität z.B. beim Zeitverhalten.
- Analyse und Bewertung des *Busaufbaus* in Fernbus und Peripheriebus im Hinblick auf dessen Funktionalität z.B. bei der räumlichen Ausdehnung.
- Anwendung und Beurteilung der *Parametrierungssoftware* im Hinblick auf deren Funktionalität z.B. bei der Dateneingabe.
- Anwendung und Beurteilung der *Visualisierungssoftware* im Hinblick auf deren Funktionalität z.B. zur Anlagenkontrolle.

5.3.1.4 Laboranleitungen zum IBUS

Allgemeines zu den Laboranleitungen

Laboranleitungen sind ein übliches Hilfsmittel, um einen Laborversuch durchzuführen. Sie werden in nahezu allen technischen Laboratorien an der Fachhochschule Hannover eingesetzt. Je nachdem, in welchem fachlichen Themengebiet und in welchem Umfeld eine Laboranleitung eingesetzt werden soll, kann sie verschiedene Funktionen in unterschiedlichen Dimensionen erfüllen.

Eine Laboranleitung kann sowohl fachspezifische Informationen liefern als auch konkrete Handlungsanweisungen geben:

Fachliche Informationen zu:

- der *Vorbereitung*: Bereitstellung einführender Literatur, Erklärungen etc.
- der *Durchführung*: Bereitstellung von Grundlageninformationen, themenspezifischen Informationen (Berechnungsformeln, Abbildungen, Prinzipschaltungen usw.), Warnhinweisen etc.
- der *Auswertung*: explizit zu erzielende Ergebnisse etc.

Handlungsanweisungen:

- bei der *Vorbereitung*: Hinweise zur Vorbereitung / Planung etc.
- bei der *Durchführung*: explizite Anweisungen zur Durchführung, Entscheidungshinweise, Arbeitsaufträge, Hinweise zum Fehlermanagement, Lernkontrollen etc.
- bei der *Auswertung*: explizite Anweisungen zur Auswertung und zur Beurteilung der Ergebnisse etc.

Der allgemeine Begriff "Laboranleitung" sagt jedoch nichts über die tatsächlichen Dimensionen der enthaltenen Informationen bzw. Anweisungen aus. So kann der Bereich schwanken zwischen einer sehr detaillierten, umfangreichen, "rezeptartigen" Anleitung bis hin zu minimalistischen, kurz gefassten Anleitungen, sogenannten "minimalen Informations- bzw. Leittexten" (vgl. Kapitel 4.5.2 Divergenz des Öffnungsgrads).

Zur durchgeführten Untersuchung

Die zur Untersuchung entwickelten Laboranleitungen für die Kontroll- bzw. Experimentalgruppe haben grundsätzlich denselben Aufbau, der sich in drei Bereiche unterteilt:

- Bereich (1)** bestehend aus:
- Inhaltsverzeichnis,
 - Symbolerklärungen,
 - Anlass,
 - Versuchsziel,
 - Abbildung des Laboraufbaus,
 - (Versuchsinhalt),
 - Vorbereitung auf den Laborversuch,
 - Lern- und Hilfesystem.

Bereich (2) bestehend aus: der eigentlichen Versuchsdurchführung bzw. der Bedienungsanleitung.

- Bereich (3)** bestehend aus:
- Aufgabenstellung,
 - Versuchsauswertung,
 - Literaturhinweisen.

Der wesentliche Unterschied zeigt sich in den Divergenzen im **Bereich (2)**:

Die "geschlossene" Variante (IBUS) der Laboranleitung zum Laborversuch IBUS hat eine im hohen Maße rezeptive Ausprägung. Die "geöffnete" Variante (IBUS*) ist im Bereich (2) in dem Maße reduziert, dass sie als *minimaler Informations- bzw. Leittext* verstanden werden kann.

In den folgenden beiden Teilkapiteln (Kapitel 5.3.1.4.1 "Geschlossene" Variante der Laboranleitung IBUS und Kapitel 5.3.1.4.2 "Geöffnete" Variante der Laboranleitung IBUS) werden beide Varianten detailliert beschrieben. In einem weiteren Kapitel (Kapitel 5.3.1.4.3 Tabellarische Gegenüberstellung der Laboranleitungen IBUS) wird eine tabellarische, direkte Gegenüberstellung der beiden Varianten vorgenommen.

5.3.1.4.1 "Geschlossene" Variante der Laboranleitung IBUS

Die gesamte Laboranleitung setzt sich aus unterschiedlichen Hilfestellungen, wie z.B. Erklärungen, Hinweisen, Abbildungen, Kontrollvorschlägen, Arbeitsaufträgen usw., zusammen.

Arbeitsaufträge oder Kontrollvorschläge sind dabei als Handlungsanweisungen zu verstehen; Erklärungen und Abbildungen gehören zu dem Bereich der fachlichen Informationen.

Einige Beispiele zu den unterschiedlichen "Hilfestellungen" sollen an dieser Stelle aufgeführt werden.

Beispiele:

Erklärungen z.B. zum Versuchsziel:

"Das Ziel dieses Versuches ist es, die prinzipielle Funktionsweise eines seriellen Feldbusses am Beispiel des INTERBUS-S zu verstehen, wobei die Wechselwirkung von Bussystem, Sensoren/Aktoren und im speziellen Fall die Kommunikation zwischen Visualisierung (PC) und Anlage im Vordergrund steht."

Hinweise z.B. zur Vorbereitung:

*"Der Versuchsaufbau steht - in **Absprache** mit den Technischen Angestellten im Maschinenlabor - als Vorbereitung zur Verfügung (Ansicht oder teilweise Inbetriebnahme)."*

Arbeitsaufträge z.B. zur Inbetriebnahme der Versuchsanordnung:

***P** Gleichstromsteller, Reglerfreigabe und Netzspannung an der Rückseite einschalten.*

***P** SPS hochlaufen lassen, PC einschalten*

***P** Eingabe am PC: c:\> **cd IBS** ↵
 c:\IBS> **IBS** ↵*

***P** Im Bild „Treiber-Installation“ **installieren** anwählen.
(im Demo-Programm: **nicht installieren**)"*

Kontrollvorschläge z.B. zur der "Online-Verbindung"

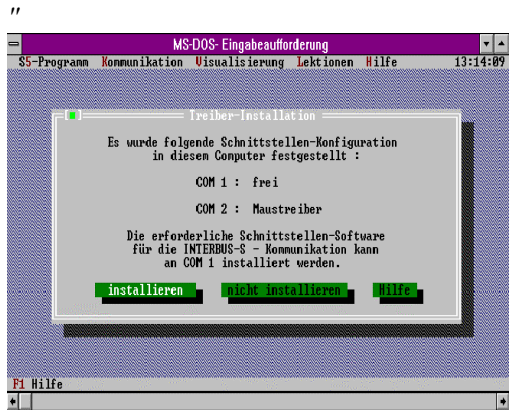
"Einfache Kontrolle, ob die „Online-Verbindung“ funktioniert:

- Am KEB-Umrichter Parameter 01 für den BOOST in die Anzeige wählen (drücken des runden grauen Tasters (zweiter von links!) unter der Anzeige des KEB-Umrichters).*
- Senden des BOOST-Parameters von PC an den KEB-Umrichter."*

Abbildungen z.B. zum Laboraufbau



Handlungsorientierte
Schaubilder z.B. zur der Treiber-Installation



Warnhinweise z.B. zum Lust-Umrichter

"Der Wert für die minimale Drehzahl des "LUST-Umrichters" kann prinzipiell größer eingestellt werden als der Wert für die maximale Drehzahl! Die Anlage richtet sich dann nach der Eingabe des Minimalwertes. Daher sollte bei der Eingabe darauf geachtet werden, dass der Wert der minimalen Drehzahl immer unter dem der maximalen Drehzahl liegt, da nur dieser Betrieb sinnvoll ist!"

Ergänzungsfragen z.B. zum BOOST

"Welche Auswirkungen hat ein BOOST von 20%? "

Inbesondere im Bereich (2) sind - **im Gegensatz zur "geöffneten" Variante** - zusätzliche Erklärungen, handlungsorientierte Schaubilder und Arbeitsaufträge zu finden.

So ist z.B. in dieser geschlossenen Variante der Laboranleitung der Bereich (2) nochmals in einzelne Teile zerlegt. Es werden ausführlich drei Teilversuche definiert, die in vorgegebener Reihenfolge bearbeitet werden sollen:

Teilversuch I: Kommunikation zwischen PC, SPS und Peripherie

Teilversuch II: Visualisierung

Teilversuch III: Verhalten bei Leitungsunterbrechung

Diese Anhäufung von unterschiedlichen "Hilfestellungen" zur Bearbeitung des Laborversuchs begründen den rezeptartigen Charakter der geschlossenen Laboranleitung.

Die vollständige Fassung der geschlossenen Variante der Laboranleitung zum Versuch IBUS befindet sich im Anhang (Kapitel 9.5 Laboranleitung IBUS (LA 1)).

5.3.1.4.2 "Geöffnete" Variante der Laboranleitung IBUS

Auch die geöffnete Variante besteht aus einer Mischung von unterschiedlichen Hilfestellungen (s.o.). Wiederum werden in der Laboranleitung sowohl Handlungsanweisungen als auch fachliche Informationen gegeben.

Der Unterschied zur geschlossenen Variante ist allerdings, dass die Anzahl der Hilfestellungen auf ein Minimum reduziert wurde. Es werden nur die Hilfestellungen gegeben, die notwendig sind, um einen möglichst sicheren Betrieb des Laboraufbaus durch die Studenten zu gewährleisten.

So wurde in Bereich (2) der geöffneten Variante u.a. auf sämtliche handlungsorientierte Schaubilder und zahlreiche ergänzende Erklärungen verzichtet. Eine Unterteilung in diesem Bereich (2) in einzelne aufgeführte Teilversuche wurde nicht vorgenommen.

Somit kommt dem Lernhelfer als "Informationsträger" bei der Bearbeitung dieses offeneren gestalteten Laborversuchs eine bedeutsamere Rolle zu als in der geschlossenen Laborumgebung.

Auch die vollständige Fassung der geöffneten Variante der Laboranleitung zum Versuch IBUS befindet sich im Anhang (Kapitel 9.6 Laboranleitung IBUS* (LA 2)).

5.3.1.4.3 Tabellarische Gegenüberstellung der Laboranleitungen IBUS

Tabelle 5-5: Gegenüberstellung der geschlossenen und geöffneten Laboranleitung

Bereich	"Hilfestellung" (X = vorhanden)		Laboranleitung IBUS	
			geschlossen	geöffnet
(1)	Erklärung	zum Anlass	X	X
		zum Versuchsziel	X	X
		zum Inhalt	X	
		zum Hilfesystem	X	X
	Arbeitsauftrag	zum Leitungsbruch	X	
	Abbildung	zum Versuchsaufbau	X	X
	Hinweis	zum Lernsystem	X	
		zur Vorbereitung (allg.)	X	
		zur Vorbereitung (Literatur)	X	X
		zur Vorbereitung (Versuchsaufb.)	X	X
	zum Demo-Programm	X	X	
(2)	Arbeitsauftrag	zur Inbetriebnahme	X	X
		zum Handbetrieb	X	X
		zum Beobachten	X	
		zur Kommunikation	X	X
		zur Visualisierung	X	X
		zur Verpackungsanlage	X	X
	Handlungsorientierte Schaubilder	zur Treiber-Installation	X	
		zum Menübildschirm	X	
		zur Kommunikation (Prozessd.)	X	
		zur Kommunikation (PCP-Daten)	X	
	Hinweis	zum Handmodus	X	
		zum BOOST	X	
		zur Anlagenübersicht	X	
		zur Verpackungsanlage	X	
		zur CPU	X	X
	Erklärung	zum Teilversuch I	X	
		zu Prozessdaten	X	
		zu PCP-Daten	X	
		zur Handhabung PCP-Daten	X	
		zum Teilversuch II	X	
zum Teilversuch III		X		
Kontrollvorschlag	zur Online-Verbindung	X		
Ergänzungsfrage	zum BOOST	X		
Warnhinweise	zu Umrichtern	X	X	
(3)	Hinweis	zur Aufgabenstellung (4)	X	X
		zur Auswertung (3)	X	X
		zur Literatur	X	X

In der Tabelle 5-5 ist zu erkennen, inwieweit sich die geschlossene von der geöffnete Variante der Laboranleitung zum IBUS unterscheidet.

5.3.2 Laborversuch PROFI

Der Titel "PROFI" zum Laborversuch II stellt eine Abkürzung dar. Der ausführliche Titel des Laborversuchs lautet: "Automatisierungsanlage mit **Profibus**- und **ASi**-Vernetzung".

Dieser Titel des Laborversuchs deutet bereits an, dass die Vernetzung der Anlage aus zwei unterschiedlichen Bussystemen besteht: dem Profibus und dem ASi-Bus. Beide Systeme sollen in diesem Teil der Arbeit in kurzer Form vorgestellt werden.

5.3.2.1 Technische Daten zum Profibus DP und zum ASi

Beide Bussysteme können, wie schon der InterBus-S, zu den Feldbussystemen gerechnet werden. Auch ihr Einsatzgebiet liegt prinzipiell im unteren Bereich der Automatisierungspyramide.

Der **Profibus** ist seit 1991 durch eine DIN-Norm spezifiziert. Der Anwendungsbereich des Profibus-Sortiments liegt in der Prozessleit- bzw. Feldebene. Man unterscheidet drei verschiedene Profibus-Systeme, die jeweils in einem speziellen Bereich eingesetzt werden. Der Profibus-**FMS** (**F**ieldbus **M**essage **S**pecification) deckt den Bereich der allgemeinen Automatisierung ab. Auf den für Profibus FMS entwickelten Eigenschaften basieren auch die weiteren Profibus-Systeme. Profibus-**DP** (**D**ezentrale **P**eripherie) ist in der Feldebene angesiedelt und wird vornehmlich im Aktor/Sensor-Bereich eingesetzt. Profibus-**PA** (**P**rozess **A**utomatisierung) wurde entwickelt, um die Einsatzmöglichkeit eines Bussystems um eine speziell eigensichere Übertragungstechnik zu erweitern. Der Einsatzbereich bei Profibus PA liegt u.a. in der Verfahrensautomatisierung.

Der **ASi**-Bus (**A**ktor-**S**ensor-**I**nterface) wurde in den Jahren 1990 bis 1993 von einem Konsortium von elf Herstellern gezielt als Sensor/Aktor-Bus entwickelt. ASi ist eine besonders einfache und dadurch preisgünstige Variante eines Feldbussystems, um einfache Sensoren und Aktoren entweder direkt mit einer prozessnahen Steuerung zu verbinden oder aber um sie über einen Busumsetzer (Link) an einen aufwendigeren Feldbus anzuschließen.

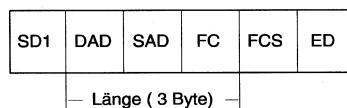
Topologie und Buszuteilung

Profibus DP:

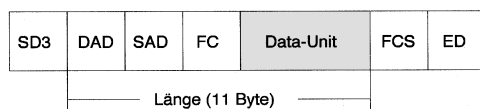
Die Norm DIN 19245, Teil 1, sieht als Busstruktur eine Linie vor. Als Übertragungsmedium wird meist eine verdrehte Zweidrahtleitung verwendet.

Mit dem Profibus DP können sowohl Mono-Master- als auch Multimaster-Systeme realisiert werden. Handelt es sich um ein Multimaster-System, muss die Zugriffsberechtigung der angeschlossenen Master auf den Bus definiert werden. Dies wird durch das Token-passing-Verfahren erreicht, indem die Zugriffsberechtigung der Reihe nach an die einzelnen Master weitergegeben wird. Zur Koordinierung dient der sogenannte Token, ein spezielles kurzes Telegramm, das in einer Schleife von einem Master an den nächsten Master geschickt wird. Nur wer den Token besitzt, darf auf den Bus zugreifen. Es handelt sich dabei also um ein hybrides Zugriffsverfahren aus Token-passing- und Master-Slave-Verfahren.

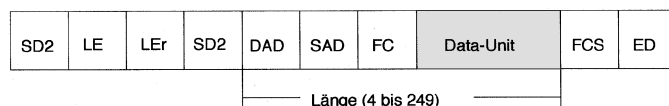
Das Übertragungsprotokoll basiert in der Regel auf einer logischen Punkt-zu-Punkt-Übertragung der Daten. Jeder einzelne Teilnehmer wird durch ein komplettes Übertragungstelegramm angesprochen bzw. sendet seine Daten durch ein solches Einzeltelegramm. Da für die serielle Informationsübertragung neben der eigentlichen Nutzinformation eine Vielzahl von weiteren Verwaltungsdaten (Adressierung, Kommandofeld, Datensicherung usw.) übertragen werden muss, weisen diese Telegrammtypen beim Einsatz im Bereich der Sensorik/Aktorik mit typisch wenig Informationen pro Teilnehmer zwangsläufig eine schlechte Effizienz auf, vgl. Abb. 5-7.



a) Format mit fester Informationsfeldlänge ohne Daten



b) Format mit fester Informationsfeldlänge mit Daten



c) Format mit variabler Informationsfeldlänge

Legende:

- SD1: Startbyte 1
- SD2: Startbyte 2
- SD3: Startbyte 3
- LE: Längenbyte (Wert 4 - 249)
- LEr: Längenbyte wiederholt
- DAD: Zieladresse
- SAD: Quelladresse
- FC: Kontrollbyte
- FCS: Prüfbyte
- ED: Endebyte

Abbildung 5-7: Aufbau verschiedener Profibus DP Telegramme

Solche Übertragungsprotokolle können im Bereich der Sensorik/Aktorik mit den hier üblichen hohen Dynamikanforderungen nur dann bestehen, wenn die ungünstige Protokolleffizienz durch eine entsprechend hohe Übertragungsrate ausgeglichen wird. Hohe Übertragungsraten bedeuten aber aufgrund der physikalischen Zusammenhänge letztendlich Verlust von Systemausdehnung oder Verwendung von aufwendigeren und teureren Übertragungsmedien und Steigerung der Systemkosten.

ASi:

Die Topologie eines ASi-Netzwerkes kann stern-, baum-, ring- oder linienförmig sein. Stichleitungen sind ebenfalls möglich, wobei Leitungsabschlusswiderstände nicht notwendig sind.

Das ASi-System arbeitet nach dem Master-Slave-Verfahren mit zyklischem Polling. Es ist möglich, im Vollausbau 31 Slaves mit bis zu 124 Binärelementen bei einer Ausdehnung von 100 m zu betreiben. Durch Repeater (Verstärker) kann diese auf max. 300 m vergrößert werden. Der Anschluss konventioneller Sensoren und Aktoren an den Bus geschieht über Koppelmodule; "intelligenter" Teilnehmer mit integriertem ASi-Chip können direkt angeschlossen werden. Die Daten- und Energieübertragung erfolgt üblicherweise über eine spezifische ASi-Flachbandleitung. Daraus ergeben sich folgende installationstechnische Vorteile: Kontaktierung der Leitung ohne Abschneiden und ohne Abisolierung der Kabel- und Adernummantelung mittels Durchdringtechnik mit einer Codierleiste zum Verpolungsschutz. Bei Slaves mit einer erhöhten Stromaufnahme muss zusätzlich ein zweites Kabel zur Hilfsenergieversorgung (DC 24 V oder AC 230 V) verlegt werden (Gruhler 1997).

Zeitverhalten

Profibus DP:

Die Übertragungszeiten eines kompletten Prozesseingangs- und Prozessausgangsabbildes vom und zum DP-Master sind von verschiedenen Parametern abhängig:

- MIN_SLAVE_INTERVALL
- Datenübertragungsrate
- Anzahl der DP-Teilnehmer

Das *MIN_SLAVE_INTERVALL* ist eine Größe, die durch den Hardwareaufbau des DP-Slaves bestimmt wird. Es beschreibt das kleinste Intervall, nach dem ein Slave erneut vom DP-Master aufgerufen werden kann. Bei neueren DP-Slaves, die mit speziellen Profibus Controller Asics ausgestattet sind, beträgt es nur noch 100 μ s, bei älteren DP-Slaves kann dieses Intervall bis zu 2 ms betragen.

Weitere wichtige Größen sind die *Datenübertragungsrate* und die *Anzahl* der im System eingebundenen DP-Teilnehmer.

Auf einer vereinfachten Berechnung basierend sind die Reaktionszeiten eines Profibus DP Systems in Abb. 5-8 dargestellt. Es wurde die Übertragung von vier Bytes Ausgangsdaten und vier Bytes Eingangsdaten zu Grunde gelegt.

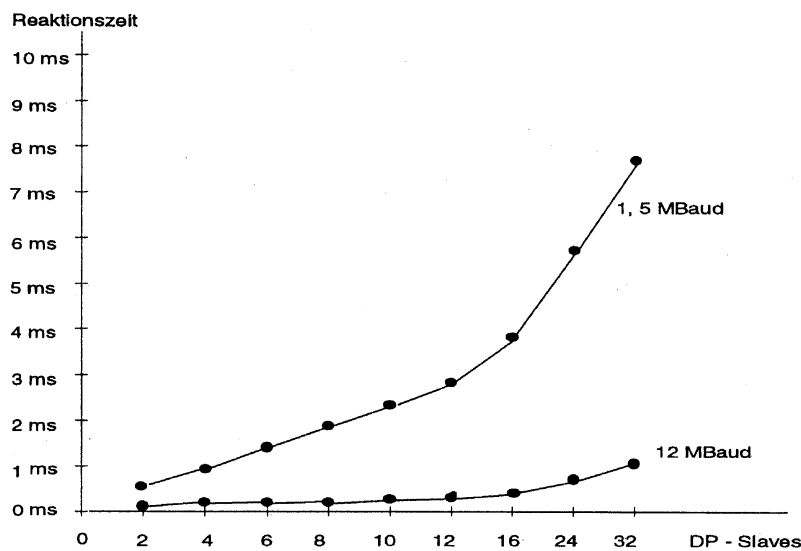


Abbildung 5-8: Reaktionszeiten eines Profibus DP Systems (Popp 1996)

Die maximale Datenübertragungsrate ist wiederum interdependent zu der Ausdehnung des Systems. Je höher die Übertragungsrate desto geringer ist die mögliche Ausdehnung, vgl. Tabelle 5-6.

Tabelle 5-6: Maximal mögliche Ausdehnung einer Profibus-Konfiguration bei einer Reihenschaltung von neun Repeatern, in Abhängigkeit von der Übertragungsrate (Weigmann 1998)

Baudrate in kBit/s	9,6 bis 187,5	500	1.500	12.000
Gesamtlänge aller Segmente in m	10.000	4.000	2.000	1.000

ASi:

Die Datenübertragungsrate beträgt 167 kBit/s. Bei 31 angeschlossenen Slaves beträgt die Zykluszeit 5 ms. Sie wird geringer, je weniger Slaves angeschlossen sind, vgl. Tabelle 5-7.

Tabelle 5-7: Abhängigkeit der Übertragungszeit von der Anzahl der Slaves

Anzahl der Slaves	typische Übertragungszeit
31	5 ms
16	3 ms
6	1 ms

5.3.2.2 Technische Beschreibung der Anlage PROFi

In diesem Abschnitt soll eine kurze technische Beschreibung des Versuchsstands **PROFI** gegeben werden. Auf detaillierte spezielle Informationen soll - wie schon bei der Beschreibung des IBUS - verzichtet werden, da dies den verfügbaren Rahmen sprengen würde. Sehr ausführliche Darstellungen und Beschreibungen finden sich in den dazugehörigen Diplomarbeiten (u.a. Bartels/Ohlendorf 1998 und Hollasch 1998).

Der Versuchstand PROFi stellt im Wesentlichen eine Automatisierung verschiedener Antriebskomponenten dar. Die Vernetzung erfolgt sowohl über den Profibus DP (sechs Teilnehmer) als auch über den ASi (fünf Teilnehmer). Auch bei dieser Anlage ist eine Erweiterung denkbar.

Alle eingesetzten Komponenten entstammen der industriellen Praxis. Um eine einfache Zuordnung der beiden Bussysteme im Ebenenmodell (Abb. 5-1, S. 86) vornehmen zu können, ist eine klar sichtbare räumliche Trennung der Bussysteme eingehalten.

Der Versuchsaufbau zeigt die Möglichkeit einer praxisnahen Industrieanlage. Ein einfacher Produktionsprozess wurde fiktiv in Form eines automatischen Ablaufs realisiert. Dazu wird ein fiktives Werkstück aus einer davor liegenden Anlage in die simulierte Produktion befördert. Das Werkstück wird über verschiedene Transportsysteme bewegt, geklemmt und mit mehreren Bohrungen und Gewinden versehen. Nach der Bearbeitung wird es in einen - wiederum fiktiven - Anlagenteil übergeben.

In Abbildung 5-9 ist der prinzipielle Aufbau der Anlage dargestellt. Gut zu erkennen ist der hierarchische Aufbau: *Steuerung (Master) - Profibus DP - ASi*.

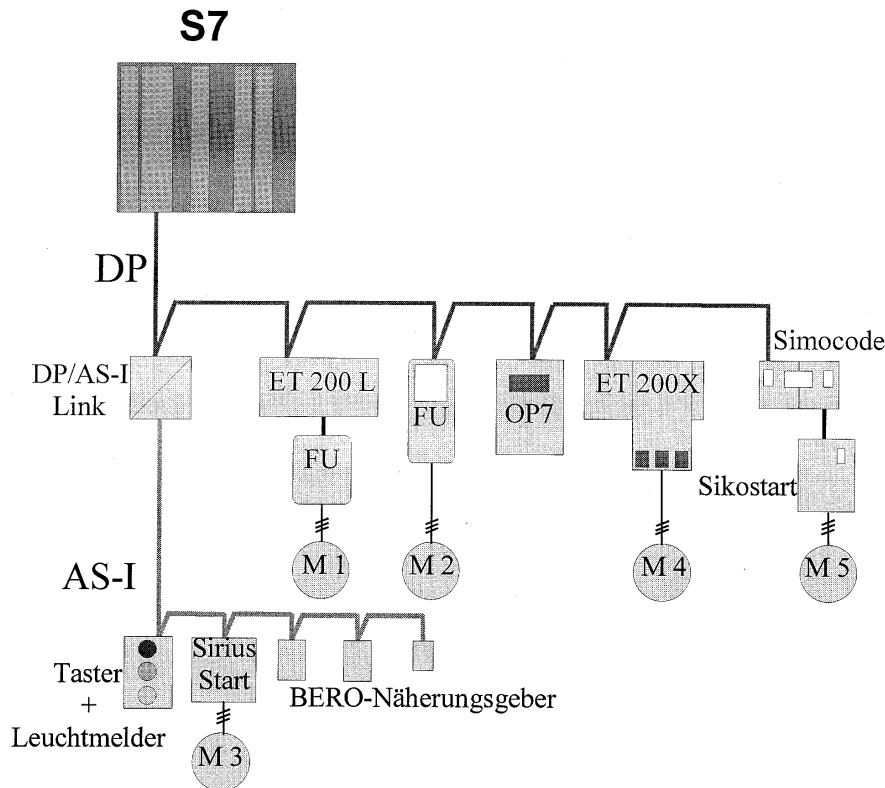


Abbildung 5-9: Prinzipieller Aufbau des Versuchsstands PROFIBUS

Im Folgenden werden alle Profibus DP- und ASi-Teilnehmer aufgelistet (jedoch nicht: Standardkomponenten wie Motoren, induktive Näherungsschalter, Endschalter, Schütze usw.):

- SPS mit Anschaltbaugruppe (Master)

Profibus DP Teilnehmer:

- DP/ASi-Link als DP Slave
- ET 200 L (Micromaster junior)
- Frequenzumrichter Lenze (Prozessdaten/Parameterdaten)
- Operator Panel OP7
- ET 200 X
- SIMOCODE DP (SIKOSTART 3RW2223)

ASi Teilnehmer:

- DP/ASi-Link als ASi Master

- Taster- und Leuchtmelder-Modul
- Motorstarter Sirius Start
- ASi Norm-Ein- und Ausgangsmodule
- Näherungsschalter ASi-BERO

5.3.2.3 Lernziele zum PROFI

Wie schon in Kapitel 5.3.1.3 (Lernziel zum IBUS) sollen an dieser Stelle die wichtigsten mehrdimensionalen Lernziele - in diesem Kapitel zum Laborversuch PROFI - genannt werden.

Es wurde wiederum eine Aufteilung in zwei Gruppen durchgeführt:

- (1) *technisch-funktionale* Lernziele und
- (2) *methodisch-problemlösungsorientierte* Lernziele.

Die wichtigsten Lernziele zum PROFI sind:

zu (1):

- Entwicklung und Anwendung einer *Bearbeitungsmethode zur Inbetriebnahme* der gesamten Anlage PROFI.
- Entwicklung und Anwendung verschiedener *Bearbeitungsmethoden zur Analyse der Bussysteme* Profibus DP und ASi im Hinblick auf die physikalische Bustopologie und deren Konsequenzen bezüglich Verdrahtungsaufwand, Verhalten bei Leitungsunterbrechungen, Störfestigkeit gegenüber elektromagnetischer Einflüsse und der Installationskosten.
- Entwicklung und Anwendung *einer Problemlösestrategie zur systematischen Analyse der Menüführung* am OP7.
- Entwicklung und Anwendung verschiedener *Problemlösestrategien beim Auftreten unterschiedlicher Kommunikationsprobleme* bei der Inbetriebnahme, im Kommunikationsbetrieb und bei der simulierten Leitungsunterbrechung.

zu (2):

- Bewertung der Auswirkungen des *Zugriffsverfahren* im Hinblick auf das Echtzeitverhalten, die Master-Funktionalität, die Slave-Funktionalität und die Systemreaktionszeiten.

- Analyse und Bewertung der *Systemreaktionszeiten* in Abhängigkeit der Variablen: Anzahl der Teilnehmer, Topologie, Zugriffsverfahren, Datenaufkommen und Ausdehnung.
- Analyse und Bewertung des *Datentransports* im Hinblick auf den Telegrammaufbau, die Adressierung und die elektrotechnischen Voraussetzungen.
- Anwendung und Beurteilung einer *Leitungsunterbrechung* im Hinblick auf dessen Auswirkungen auf die Funktionalität und die Fehlerortung und -behebung.
- Analyse und Bewertung des *Zusammenspiels* der Komponenten im Hinblick auf dessen Wirkungszusammenhänge, z.B. zwischen SPS und OP7.
- Anwendung und Bewertung verschiedener *Betriebsarten* (Handbetrieb, Local-Hand-Betrieb, Automatikbetrieb) im Hinblick auf deren Funktionalität z.B. bei einer Inbetriebnahme.
- Analyse und Bewertung des *Busaufbaus* der Systeme Profibus DP und ASi im Hinblick auf dessen Funktionalität z.B. bei der räumlichen Ausdehnung.
- Anwendung und Beurteilung der *Bedienungssoftware des OP7* im Hinblick auf deren Funktionalität z.B. bei der Dateneingabe.
- Analyse und Bewertung der *Datenarten* Prozessdaten und Parameterdaten im Hinblick auf deren Funktionalität beim Profibus DP und ASi.
- Anwendung und Beurteilung der *Visualisierungstafel* im Hinblick auf deren Funktionalität z.B. zur Anlagenkontrolle.

5.3.2.4 Laboranleitung zum PROFIBUS

Wie schon ausführlich im Kapitel 5.3.1.4 (Laboranleitungen zum IBUS) erläutert, sind Laboranleitungen ein übliches Hilfsmittel, um einen Laborversuch durchzuführen. Im Abschnitt "Allgemeines zu den Laboranleitungen" jenes Kapitels werden Beschreibungen gegeben, die auch für die Laboranleitung zum PROFIBUS gelten.

Zur durchgeführten Untersuchung

In der durchgeführten Untersuchung wurden sowohl der Kontrollgruppe als auch der Experimentalgruppe eine identische Laboranleitung ausgehändigt. Der grundsätzliche Aufbau der Laboranleitungen, wie z.B. die Unterteilung in drei Bereiche (1-3), ist mit den Laboranleitungen zum IBUS identisch. Die Laboranleitung PROFIBUS ist ebenso wie die "geöffnete" Variante der Laboranleitung zum IBUS als *minimaler Informations- bzw. Leittext* zu verstehen. Wiederum kommt dem Lernhelfer bei der Bearbeitung des offen gestalteten Laborversuchs eine bedeutsamere Rolle zu als in einer geschlossenen Laborumgebung. Auch diese Laboranleitung besteht aus einer Mischung unterschiedlicher Hilfestellungen (Handlungsanweisungen und fachliche Informationen), allerdings ist die Anzahl der Hilfestellungen wiederum auf ein Minimum reduziert. So wurde in Bereich (2) auf weitere mögliche handlungsorientierte Schaubilder und zahlreiche ergänzende Erklärungen verzichtet. Einige Beispiele zu den unterschiedlichen "Hilfestellungen" sollen an dieser Stelle aufgeführt werden.

Beispiele:

Erklärungen z.B. zum Versuchsziel:

"Das Ziel dieses Versuches ist es, die prinzipielle Funktionsweise eines Feldbusses mit Linienstruktur am Beispiel des PROFIBUS bzw. des ASi zu verstehen, wobei die Wechselwirkung von Bussystem zu Bussystem und Bussystem zu Sensoren/Aktoren im Vordergrund steht."

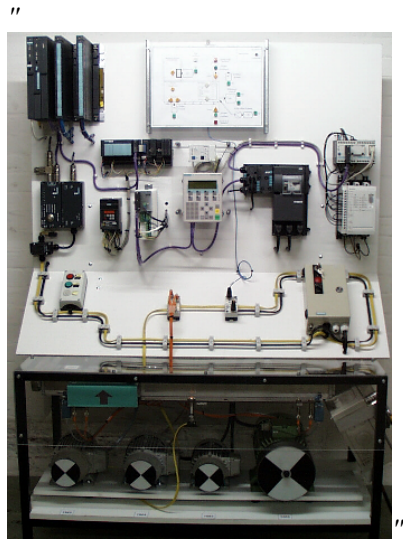
Hinweise z.B. zur Inbetriebnahme:

"Nach einem korrekten Anlauf leuchtet die grüne SPS-LED „RUN,.. Ein Anlauf von SPS und OP7 dauert ca. 10 Sekunden."

Arbeitsaufträge z.B. zur Inbetriebnahme des Versuchsanordnung:

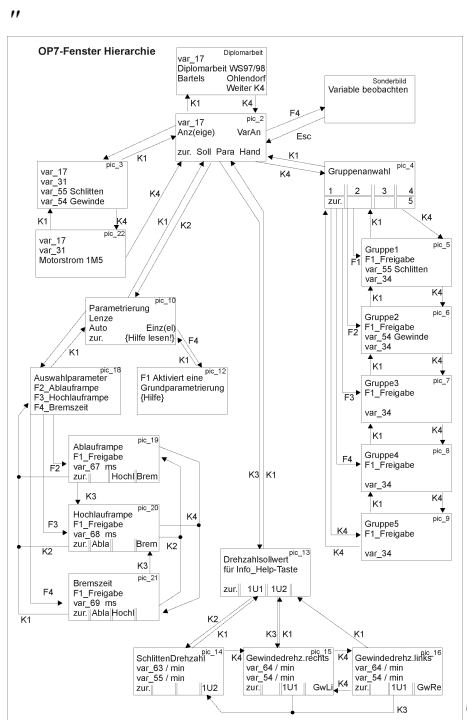
"P Einschalten von Steuerspannung und Leistung auf der rechten Seite des Versuchsaufbaus am Anschlußkasten."

Abbildungen z.B. zum Laboraufbau



Handlungsorientierte Schaubilder

z.B. zum OP



Warnhinweise z.B. zum Motor 1M5

*"Bilder können auch mit der Taste ESC verlassen werden, gesetzte Funktionen oder Freigaben **bleiben aber aktiv!** Es muß dann nach anderen Bildanwahlen wieder in das entsprechende Bild gewechselt werden, um dort die Freigabe zu beenden. Dies ist ausschließlich bei den Bildern pic_5, 6, 7, 8 und 9 nach der Handfreigabe zu beachten".*

In der folgenden Tabelle 5-8 wird eine tabellarische Auflistung der "Hilfestellungen" vorgenommen.

Tabelle 5-8: Auflistung der Hilfestellungen in der geöffneten Laboranleitung PROF1

Bereich	"Hilfestellung" (X = vorhanden)	Laboranleitung PROF1 geöffnet	
(1)	Erklärung	zum Anlass	X
		zum Versuchsziel	X
	Abbildung	zum Versuchsaufbau	X
	Hinweis	zur Vorbereitung (Literatur)	X
zur Vorbereitung (Versuchsaufb.)		X	
(2)	Arbeitsauftrag	zum Einschalten	X
		zur Bildanwahl <i>pic_4</i>	X
		zur Grundstellungsfahrt	X
		zum Abwählen von Bildern	X
	Handlungsorientierte Schaubilder	OP7-Fensterhierarchie	X
	Hinweis	zur SPS-LED	X
		zu den Leuchtmeldern	X
		zum Zustand Anlage Stop	X
		zum Zustand Anlage Betrieb	X
		zum Zustand Anlage Hand	X
		zum Zustand Anlage Hand local	X
		zur Grundstellung	X
		zum Automatischen Ablauf	X
		zum Handbetrieb	X
		zum Hand-local-Betrieb	X
		zur Endabschaltung	X
		zum OP7	X
	Erklärung	zum Versuchsaufbau	X
		zur Grundstellungsfahrt	X
	Warnhinweise	zum Not-Aus	X
zum Motor 1M5		X	
zum OP7		X	
(3)	Hinweis	zur Aufgabenstellung (4)	X
		zur Auswertung (3)	X
		zur Literatur	X

Die vollständige Fassung der Laboranleitung zum Versuch PROF1 befindet sich im Anhang (Kapitel 9.7 Laboranleitung PROF1 (LA3)).

5.4 Beurteilungsinstrumente bei Laborversuchen

Zahlreiche Forschungsvorhaben, Veröffentlichungen und auch Dissertationen beschäftigen sich seit langem mit der Beurteilung von Laborleistungen, vgl. Wengemuth 1997, Kohlstock 1997.

Auf diese wissenschaftliche Diskussion soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden, da *die Beurteilung* von Laborleistungen *nicht* unmittelbares Ziel der Untersuchung ist.

Da die Untersuchung jedoch im regulären Semesterbetrieb durchgeführt wurde und das Laboratorium für Leistungselektronik und die darin enthaltenen Laborversuche IBUS und PROFI ein Teil der Semesterleistung waren, mussten die teilnehmenden Studenten eine "Prüfungsleistung" erbringen, um den dazugehörigen "Schein" zu erwerben. Um diese Leistungen beurteilen zu können, wurden auch bei diesen beiden Laborversuchen Beurteilungsinstrumente herangezogen, die seit Jahren an der Fachhochschule Hannover in zahlreichen Laboratorien praxis sind: *Laborberichte* und *Ergebnispräsentationen*.

Als Forschungsinstrumente der Untersuchung wurden andere Beurteilungsinstrumente genutzt: *Interviews (Fragebögen)* und *Beobachtungen*, vgl. dazu auch Kapitel 4.4.2 (Erhebungsmethoden der Qualitätssicherung). Die Instrumente, die speziell für die Untersuchung modifiziert wurden, zielen darauf ab, Selbsteinschätzungen der Teilnehmer zu erhalten und unterschiedliche Handlungsweisen durch den Beobachter (Fremdeinschätzung) zu erfassen.

In den folgenden beiden Unterkapiteln sollen sowohl die konventionellen als auch die untersuchungsspezifischen Instrumente vorgestellt werden.

5.4.1 Konventionelle Beurteilungsinstrumente

Zu den konventionellen Beurteilungsinstrumenten, die auch in den anderen vier Laborversuchen (Versuche 3 bis 6) der Leistungselektronik eingesetzt wurden, gehören die *Laborberichte* und die *Ergebnispräsentationen*.

5.4.1.1 *Laborberichte*

Laborberichte erfüllen den Zweck, in kurzer schriftlicher Form über die Ergebnisse und Erkenntnisse des durchgeführten Laborversuchs zu "berichten". Fachliche Inhalte stehen dabei im Vordergrund. Eine kritische Schlussbetrachtung des Laborversuchs sollte integriert sein. Der Umfang beträgt, je nach Themengebiet, ca. 4 bis 10 Seiten. Zu jedem Laborversuch ist von der jeweiligen aktiven Gruppe ein Bericht anzufertigen, der zum Ende des aktuellen Semesters abgegeben wird. Das während der Labordurchführung angefertigte Protokoll ist ein Teil des Berichtes und als Orientierungshilfe zu verstehen.

Der grundsätzliche Aufbau und Anregungen zur Anfertigung eines Laborberichtes wurden auf der Vorbesprechung 2 (vgl. Kapitel 5.2.1 Grobzeitplanung im Semester) angesprochen.

5.4.1.2 *Präsentationen*

Ein zweites Mittel, das von den Lehrenden als Beurteilungskriterium für die zu erbringende Prüfungsleistung herangezogen wird, ist die Präsentation der Ergebnisse. Sie bestimmt jedoch nur zu etwa einem Drittel die Gesamtzensur (zwei Drittel: Laborbericht). Vielmehr wird diese Präsentation in erster Linie durchgeführt, um den Studenten die Möglichkeit zu geben, eigenständige Präsentationstechniken zu entwickeln und auszubauen.

Inhaltlich sollen die Präsentationen in einem zeitlichen Rahmen von 15 bis 20 min das widerspiegeln, was bereits in den Laborberichten zusammengefasst wurde. Besonders interessant dabei ist, dass es sich bei den Präsentationen um themenzentrierte Gruppenpräsentationen (zwei bis drei Personen) handelt; d.h., die in den einzelnen unterschiedlichen Gruppen erzielten Ergebnisse und die gewonnenen Erkenntnisse müssen zu einer gemeinsamen Präsentation vereinigt werden.

Die Präsentationen wurden in einem Vorlesungsraum mit Hilfe eines Tageslichtprojektors und einer herkömmlichen Tafel durchgeführt; das Auditorium bildeten die Gruppenteilnehmer und die involvierten Lehrenden.

Rahmeninformationen zu den Präsentationen erhielten die Teilnehmer auf der eigens dafür durchgeführten "Vorbesprechung zur Präsentation".

5.4.2 Untersuchungsspezifische Forschungsinstrumente

Wie bereits im Kapitel 4.4.2 (Erhebungsmethoden der Qualitätssicherung) erläutert und begründet, wurden für die Untersuchung zwei unterschiedliche Forschungsinstrumente angewendet: *Interviews* und *Beobachtungen*.

Die Laborteilnehmer wurden zu Beginn der Labordurchführung wiederholt darauf hingewiesen, dass es sich bei der Untersuchung nicht um eine fachliche Beurteilung ihrer persönlichen Leistung, sondern um eine Evaluationsmaßnahme zur allgemeinen Verbesserung der Lehre handelt.

In den folgenden Teilkapiteln soll die praktische Anwendung der beiden Forschungsinstrumente beschrieben werden.

5.4.2.1 Interviews

Die zur Datenerhebung durchgeführten Interviews bestehen aus zwei Formen: zum einen wurden mündliche Fragen an die Teilnehmer gestellt, zum anderen wurden Fragebögen an die Teilnehmer verteilt, die schriftlich zu beantworten waren. Bei allen Antworten handelt es sich um reine Selbsteinschätzungen der Teilnehmer.

Mündliche Fragen

Unmittelbar bevor die Teilnehmer mit der Durchführung des eigentlichen Laborversuchs begonnen haben, wurden sie nach ihren individuellen Erwartungen in Bezug auf den jeweiligen Laborversuch befragt. Die Befragung war unterteilt in drei Bereiche: Praxisbezug, vermitteltes Wissen und "andere" Erwartungen.

Die beiden ersten Bereiche wurden in Form einer geschlossenen Fragestellung (Antwortauswahl-Frage) abgefragt, die Frage im dritten Bereich war offen gestaltet.

Jede einzelne Antwort der Teilnehmer wurde von dem Untersuchungsleiter direkt notiert. Die Antworten wurden jedoch lediglich der Gruppe zugeordnet, nicht den einzelnen Teilnehmern.

Die schriftlich formulierten Fragen waren integraler Bestandteil der Beobachtungsbögen, die dem Versuchsleiter vor und während der Versuchsdurchführung vorlagen. Die von den Teilnehmern geäußerten Antworten wurden auf den Beobachtungsbögen notiert.

Bei beiden Laborversuchen wurden identische Fragen gestellt, lediglich die Versuchsbezeichnung alternierte (IBUS ↔ PROFI).

Diese mündliche Befragung vor Beginn der Versuchsdurchführung nahm einen zeitlichen Rahmen von ca. 10 min in Anspruch.

Schriftliche Fragen

Die schriftliche Befragung wurde in Form von speziell für die Untersuchung entwickelten Fragebögen durchgeführt. Es wurden zwei unterschiedliche Fragebögen - angepasst an die jeweiligen Laborversuche - eingesetzt:

- Fragebogen **IBUS**
- Fragebogen **PROFI**

Die einzelnen Unterschiede sind in Kapitel 4.4.2.1 (Befragung durch strukturierte Fragebögen (Interviews)) erläutert.

Alle gestellten Fragen sind prinzipiell zwei unterschiedlichen Fragenkategorien zuzuordnen:

- (1) *direkt* thesenrelevante Fragen,
- (2) *indirekt* thesenrelevante Fragen.

zu (1): direkt thesenrelevante Fragen:

Zu dieser Fragenkategorie gehören die Fragen, die in einem direkten Zusammenhang mit der aufgestellten Arbeitshypothese stehen. Beispielhaft für eine direkt thesenrelevante Frage kann die Frage (15) des PROFI-Fragebogens genannt werden.

Beispiel: PROFI-Fragebogen Frage (15)

Welche Veränderungen haben Sie beim Durchführen des Versuches „PROFI“ gegenüber dem ersten Versuch „IBUS“ erlebt?

	Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
a) Positive Veränderung? die Erfahrungen aus der ersten Versuchsdurchführung führten zu einer <u>besseren Orientierung</u> (kurze Einarbeitung, sicheres Vorgehen, usw.) bei der Durchführung des zweiten Versuchs „PROFI“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Negative Veränderungen? die Erfahrungen aus der ersten Versuchsdurchführung führten eher zu einer <u>Verunsicherung</u> bei der Durchführung des zweiten Versuchs „PROFI“	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Keine Veränderung? die Erfahrungen aus der ersten Versuchsdurchführung führten <u>weder</u> zu einer Verunsicherung <u>noch</u> zu einer besseren Orientierung (kurze Einarbeitung, sicheres Vorgehen, usw.) bei der Durchführung des zweiten Versuchs „PROFI“, d.h. der Versuch IBUS hatte <u>keinen Einfluss</u> auf die Durchführung beim Versuch PROF	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

zu (2): indirekt thesenrelevante Fragen:

Zu dieser Fragenkategorie gehören die Fragen, die nur indirekt in einem Zusammenhang mit der aufgestellten Arbeitshypothese stehen. Dabei wurden z.B. Fragen zu den Erwartungen, zur Laborvorbereitung, zum Vorwissen etc. gestellt. Beispielhaft für eine indirekt thesenrelevante Frage kann die Frage (3) des IBUS-Fragebogens genannt werden.

Beispiel: IBUS-Fragebogen Frage (3)

Wie haben Sie sich auf den Laborversuch IBUS vorbereitet?

	Stimme zu	Stimme zum großen Teil zu	Stimme zum großen Teil nicht zu	Stimme nicht zu
➔ Ich hatte schon Erfahrungen mit Bussystemen: Welche:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
➔ Laboranleitung IBUS durchgearbeitet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
➔ LEK-Skript durchgearbeitet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
➔ Zusätzliche Literatur benutzt: Welche:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

In der folgenden Tabelle 5-9 wird eine Einteilung der Fragen nach *direkt*, bzw. *indirekt* thesenrelevant vorgenommen.

Tabelle 5-9: Einordnung der einzelnen Fragen nach ihrer Thesenrelevanz

Frage	Kurzbezeichnung	Typ	Thesenrelevant	
			<i>direkt</i>	<i>indirekt</i>
(1)	problemlose Bedienung möglich?	geschlossen	X	
(2)	Anweisungen folgen?	geschlossen/offen	X	
(3)	Laborvorbereitung?	geschlossen/offen		X
(4)	Versuchsziel klar?	geschlossen	X	
(5)	Intensität der Betreuung?	offen	X	
(6)	Vorwissen?	geschlossen	X	
(7)	konkretere Aufgabenstellung?	geschlossen/offen	X	
(8)	welche Erwartungen?	geschlossen/offen		X
(9)	Erwartungen erfüllt?	geschlossen/offen	X	
(10)	gut bzw. nicht gut gefallen?	offen		X
(11)	Komplexität?	geschlossen		X
(12)	Strategie entwickelt?	geschlossen	X	
(13)	Vergleich zum 4Q-Versuch?	geschlossen		X
(14)	Vergleich zu anderen Versuchen?	geschlossen		X
(15) IBUS	welche Ausbildung?	geschlossen/offen		X
(15) PROFI	Veränderungen bei der Durchführung?	geschlossen	X	
(16)	Hinweise/Bemerkungen	offen		X

Die Fragebögen wurden mit einer anonymen VP-Nummer (**V**ersuchsperson-**N**ummer) versehen, um eine Zuordnung Pretest/Posttest zu ermöglichen.

Diese schriftliche Befragung direkt nach der Versuchsdurchführung nahm einen zeitlichen Rahmen von ca. 15 min in Anspruch.

5.4.2.2 Beobachtungen

Wie schon detailliert im Kapitel 4.4.2.2 (Nichtteilnehmende strukturierte Beobachtung) beschrieben, wurde eine "Nichtteilnehmende strukturierte Beobachtung" während der gesamten Versuchsdurchführung von dem Versuchsleiter durchgeführt.

"Lautes Denken"

Die Teilnehmer wurden vor und während der Versuchsdurchführung aufgefordert, ihre Gedanken zu verbalisieren. Sie wurden aufgefordert, "laut zu denken".

Damit sind zwei unterschiedliche, positive Effekte verbunden: zum einen wird es für den Beobachter möglich, Gedanken der Teilnehmer, die für die Untersuchung wichtig sind, zu erfassen und zu dokumentieren. Andererseits ist praktiziertes "lautes Denken" der einzelnen Teilnehmer oft hilfreich, Probleme zu lösen (Friedrich u.a. 1997).

Um die Beobachtungen strukturiert durchführen zu können, wurden Beobachtungsbögen entwickelt, anhand derer sich der Beobachter orientieren konnte. Zusätzlich wurde von dem Beobachter ein Beobachtungsprotokoll geführt, in dem ausführliche Notizen und Anmerkungen im Hinblick auf die Beobachtungsziele zu den einzelnen Teilnehmern und zur Gruppe insgesamt gemacht wurden.

Wie schon im Kapitel 4.4.2.2 (Nichtteilnehmende strukturierte Beobachtung) erwähnt, setzen sich die Beobachtungsbögen jeweils aus vier Teilbereichen zusammen:

- (1) "Auszug aus der Laboranleitung"
- (2) "Vor der Versuchsdurchführung"
- (3) "Während der Versuchsdurchführung"
- (4) "Nach der Versuchsdurchführung"

Der Bereich (1) der Beobachtungsbögen ist als Hilfestellung für den Beobachter bei der Versuchsdurchführung gedacht.

Im Bereich (2) wurde die Befragung der Teilnehmer nach ihren Erwartungen angeleitet und dokumentiert. Die Erwartungen gelten als *indirekt* thesenrelevant.

Die Bereiche (3) und (4) sind dabei die Bereiche, die nahezu durchgängig als *direkt* thesenrelevant einzustufen sind.

Zum Bereich (3): "Während der Labordurchführung"

Vier Teilkategorien sollten von dem Beobachter während der Versuchsdurchführung bearbeitet werden:

1. Bearbeitungszeiten: die Bearbeitungszeiten der einzelnen Versuchsabschnitte wurden notiert, um Rückschlüsse u.a. auf das Zeitmanagement der Teilnehmer ziehen zu können (geschlossene Frage, *indirekt* thesenrelevant).
2. Anfordern von Informationen: es wurde notiert, wie oft und aus welcher Quelle Informationen von den Teilnehmern angefordert wurden (geschlossen/offene Frage, *direkt* thesenrelevant).
3. Fehler: es wurde notiert, wieviel und welche Fehler von den einzelnen Teilnehmern, bzw. von der Gruppe gemacht wurden (offene Frage, *direkt* thesenrelevant).
4. positive Einfälle: es wurden notiert, sofern sie verbal geäußert wurden oder als unmittelbar handlungsbezogen zu erkennen waren, wieviel und welche positiven Einfälle innerhalb der Gruppe entstanden sind (offene Frage, *direkt* thesenrelevant).

In dem von dem Beobachter geführten Beobachtungsprotokoll konnten im Hinblick auf die Beobachtungsziele weitere ausführliche und ergänzende Notizen und Anmerkungen zu den einzelnen Teilnehmern und zur Gruppe insgesamt gemacht werden.

Zum Bereich (4): "Nach der Labordurchführung"

In diesem letzten Bereich der Beobachtungsbögen wurden von dem Beobachter vorgegebene Fragen beantwortet, die seine Einschätzungen zu verschiedenen Aspekten der gesamten Versuchsdurchführung widerspiegeln sollen.

Vier Fragen sollten von dem Beobachter unmittelbar nach der Versuchsdurchführung beantwortet werden:

1. problemlose Bedienung?: beantwortet wurde die Frage, ob nach Einschätzung des Beobachters der Gruppe insgesamt eine problemlose Bedienung der Geräte möglich war (geschlossene Frage, *direkt* thesenrelevant).
2. Versuchsziel klar?: beantwortet wurde die Frage, ob nach Einschätzung des Beobachters der Gruppe insgesamt das Versuchsziel klar geworden ist (geschlossene Frage, *direkt* thesenrelevant).

3. gut bzw. nicht gut gefallen?: in freier Formulierung wurde hier von dem Beobachter notiert, was ihm nach seiner Einschätzung an der Gruppe insgesamt eher gut, bzw. eher nicht gut gefallen hat (offene Frage, *direkt/indirekt* thesenrelevant).
4. Strategie entwickeln?: beantwortet wurde die Frage, ob nach Einschätzung des Beobachters die Gruppe insgesamt eine Strategie zum Bearbeiten des jeweiligen Laborversuchs entwickeln konnte (geschlossene Frage, *direkt* thesenrelevant).

Die kompletten Beobachtungsbögen IBUS und PROFI befinden sich im Anhang (Kapitel 9.4 Beobachtungsbögen).