

# Inhalt

<b>Teil I: Grundlagen des Programmierens in LabVIEW</b>	<b>17</b>
<b>1 Was ist LabVIEW?</b>	<b>19</b>
1.1 Entwicklungsstufen .....	19
1.2 Was will dieses Lehrbuch?.....	21
1.3 Installation .....	21
1.4 Einführendes Beispiel.....	21
1.4.1 Programmierung von $c = a + b$ .....	25
1.4.2 Speicherung als Programm Add.vi .....	28
1.4.3 Starten und Stoppen von Add.vi.....	28
1.4.4 Fehlersuche in Add.vi (Debugging) .....	29
1.5 Beispiel für eine Grafik in LabVIEW .....	30
1.6 Grundlegende Konzepte von LabVIEW .....	31
1.6.1 Frontpanel.....	31
1.6.2 Blockdiagramm.....	31
1.7 Rezepte.....	32
1.8 Shortcuts .....	33
<b>2 Einstellungen, Paletten</b>	<b>35</b>
2.1 Einstellungen .....	35
2.1.1 Einstellungen von LabVIEW .....	35
2.1.2 Frontpanel.....	36
2.1.3 Blockdiagramm.....	37
2.1.4 Ausrichtungsgitter .....	39
2.1.5 Wiederherstellungen .....	39
2.2 Paletten .....	39
2.2.1 Werkzeugpalette (Tools Palette).....	40
2.2.2 Eingabe-/Ausgabe-Elemente.....	41
2.2.3 Funktionenpalette.....	44
2.2.4 Palette konfigurieren .....	47
<b>3 Programmstrukturen</b>	<b>48</b>
3.1 Strukturiertes Programmieren.....	48
3.2 Sequenz .....	50
3.3 Case-Struktur .....	53

3.4	Schleifen .....	57
3.5	Guter Programmierstil.....	61
<b>4</b>	<b>Datentypen</b> .....	<b>63</b>
4.1	Numerische Datentypen .....	63
4.1.1	Kontextmenü: 'Darstellung' .....	63
4.1.2	Kontextmenü: 'Anzeigeformat...'	64
4.2	Boolesche Datentypen .....	66
4.3	String und Pfad .....	68
4.4	Arrays .....	71
4.4.1	Definition und Initialisierung eines 1-dimensionalen Arrays .....	71
4.4.2	Definition und Initialisierung eines 2-dimensionalen Arrays .....	73
4.4.3	Array erstellen.....	74
4.4.4	Rechnen mit Arrays: Addition .....	75
4.4.5	Rechnen mit Arrays: Multiplikation.....	76
4.4.6	Steuerung von For-Schleifen mit Arrays.....	77
4.4.7	Behandlung einzelner Arrayelemente .....	79
4.5	Cluster .....	81
4.5.1	Erzeugung eines Clusters .....	82
4.5.2	Clusterwerte ändern .....	83
4.5.3	Aufschlüsseln eines Clusters .....	85
4.5.4	Umordnen der Elemente eines Clusters .....	86
4.5.5	Cluster-Arrays .....	87
4.6	Ring & Enum.....	88
4.7	Datentyp FXP.....	90
4.8	Datentyp Variant .....	92
4.9	Guter Programmierstil.....	94
<b>5</b>	<b>Unterprogramme und Typdefinitionen</b> .....	<b>96</b>
5.1	Wozu Unterprogramme (SubVIs)? .....	96
5.2	Erstellen von Unterprogrammen .....	97
5.2.1	Einführendes Beispiel .....	97
5.2.2	Weitere Hinweise für die Erstellung eines Unterprogramms .....	100
5.2.3	Einstellungen für Programme und Unterprogramme .....	102
5.2.4	Erstellen von Unterprogrammen mit internem Zustand .....	104
5.2.5	Erstellen von polymorphen Unterprogrammen .....	105
5.3	Aufruf von Unterprogrammen .....	108
5.3.1	Statische Bindung.....	108
5.3.2	Dynamische Bindung .....	109
5.3.2.1	VI-Referenz öffnen und schließen.....	109
5.3.2.2	Aufruf eines VI über seine Referenz .....	110
5.3.2.3	Beispiel für den SubVI-Austausch während der Laufzeit.....	112
5.3.2.4	Rekursiver Aufruf von Unterprogrammen .....	112
5.3.2.5	Testen (Debugging) von ablauffinvarianten SubVIs .....	113

5.4	Typdefinitionen .....	115
5.4.1	Beispiel einer Typdefinition für Enum-Variablen.....	115
5.4.2	Beispiel einer Typdefinition für Registerkarten .....	117
5.5	Guter Programmierstil .....	118
5.5.1	Vereinfachung durch Unterprogramme und Typdefinitionen .....	118
5.5.2	Aussagekräftige Symbole (Icons).....	120
5.5.3	Anordnung häufig verwendeter Elemente.....	120
5.5.4	Kommentierung der Elemente und Funktionen eines VI .....	120
5.5.5	Detaillierte Hilfe.....	122
<b>6</b>	<b>Prozessvisualisierung</b> .....	<b>123</b>
6.1	OOP-Konzepte .....	123
6.2	Eigenschafts- und Methodenknotten .....	123
6.3	Grafische Ausgabe .....	127
6.3.1	Chart (Signalverlaufdiagramm).....	127
6.3.1.1	Darstellung einer Sinuskurve .....	127
6.3.1.2	Darstellung von zwei oder mehr Kurven in einem Chart .....	129
6.3.1.3	Legende zu einem Chart oder Graphen .....	130
6.3.1.4	Skalierung der Ordinate in einem Chart.....	131
6.3.2	Graph (Signalverlaufgraph) .....	133
6.3.2.1	Darstellung einer Sinuskurve .....	133
6.3.2.2	Darstellung von zwei oder mehr Kurven in einem Graphen .....	134
6.3.2.3	Skalierung der Abszisse in einem Graphen .....	136
6.3.3	XY-Graph.....	138
6.3.3.1	Darstellung einer Relation im XY-Graphen .....	139
6.3.3.2	Darstellung mehrerer Relationen in einem XY-Graphen .....	140
6.3.4	Signalverlauf .....	141
6.4	Express-VIs, Programmierstil .....	146
6.4.1	Express-VI zur Erzeugung von Kurven .....	146
6.4.2	Express-VI zur Erstellung von Berichten.....	147
<b>7</b>	<b>Referenzen, Fehlerfunktionen</b> .....	<b>149</b>
7.1	Einführendes Beispiel.....	149
7.1.1	Vertauschung von zwei Variablenwerten .....	149
7.1.2	Referenzen auf Bedien- und Anzeigeelemente.....	150
7.1.3	Lösung des Vertauschungsproblems .....	151
7.2	Vererbung.....	152
7.2.1	Eigenschaften der Basisklasse .....	154
7.2.2	Eigenschaften von abgeleiteten Klassen.....	154
7.3	Fehlerfunktionen .....	156
7.3.1	Fehlermeldungen mit oder ohne Dialog.....	156
7.3.2	Wo findet man wichtige Fehlerelemente und Fehlerfunktionen? .....	157
7.3.3	Verschiedene Fehlerarten.....	158
7.3.3.1	Standardfehlerleitung .....	158
7.3.3.2	Funktionen ohne oder mit vereinfachter Fehlerleitung .....	158

7.3.4	Ausgang aus While-Schleifen .....	160
7.3.5	Erzwingung von sequenziellem Ablauf .....	161
<b>8</b>	<b>Datentransfer von und zur Festplatte</b>	<b>162</b>
8.1	Dateifunktionen .....	162
8.1.1	Allgemeines zur Speicherung von Dateien .....	162
8.1.2	Palette Dateifunktionen .....	164
8.1.3	Einführendes Beispiel .....	165
8.1.4	Modifiziertes Beispiel .....	166
8.1.5	Beispiel: Anlegen einer Protokolldatei .....	167
8.1.6	Überschreiben ohne Warnung .....	167
8.2	Pfade .....	168
8.2.1	Pfadkonstanten .....	168
8.2.2	Pfadkonstante 'Standardverzeichnis' .....	169
8.2.3	'Standardverzeichnis' ändern .....	170
8.2.4	'Standarddatenverzeichnis' ändern .....	171
8.2.5	Lesen und Schreiben anderer Datentypen .....	171
8.2.6	Verketteten von Schreib- und Lesefunktionen .....	172
8.2.7	Tabellenkalkulation .....	173
8.3	Pfade in einer EXE-Datei .....	173
8.4	Fortgeschrittene Dateitypen .....	175
8.4.1	LVM-, TDMS- und TDM-Dateien .....	176
8.4.2	Diadem .....	179
8.4.3	ZIP-Dateien .....	179
8.4.4	Konfigurationsdateien .....	181
<b>9</b>	<b>LabVIEW-Kurzüberblick</b>	<b>185</b>
9.1	Aufbau des LabVIEW-Systems .....	185
9.1.1	Programmierung in G .....	185
9.1.1.1	Interpretieren oder kompilieren? .....	185
9.1.1.2	Datenflussprogrammierung .....	187
9.1.2	Hardware-Unterstützung .....	187
9.1.3	Bibliotheken mathematischer und technischer Funktionen .....	188
9.1.4	Benutzerschnittstelle .....	189
9.1.5	Technologische Abstraktion .....	190
9.1.6	Rechenmodelle .....	190
9.2	Projekte .....	190
9.3	Erstellung von EXE-Dateien .....	192
9.3.1	Erstellung einer EXE-Datei .....	192
9.3.2	EXE-Datei auf einem Rechner ohne LabVIEW-System .....	194
9.4	Strukturen zur Programmentwicklung .....	197
9.4.1	Deaktivierungsstrukturen .....	197
9.4.2	Debug-Einstellung in der Projektverwaltung .....	199
9.5	LabVIEW-Bibliotheken .....	200
9.6	Umwandeln von LLB-Bibliotheken .....	202

9.7	Einbindung von C-Funktionen unter Windows .....	204
9.7.1	Reihe in C# .....	205
9.7.2	Reihe in C++ .....	209
9.7.3	Reihe mit MathScript .....	213
9.8	Hilfen zu LabVIEW .....	213
9.9	Schnelleinfügeleiste (Quickdrop) .....	215
9.10	Der VI Package Manager .....	217
9.10.1	Verwalten der LabVIEW-Entwicklungsumgebung .....	218
9.10.2	Eigenes Paket erstellen.....	220

## **Teil II: Technische Anwendungen** **221**

<b>10</b>	<b>Fouriertransformation</b> .....	<b>222</b>
10.1	Zeit- und Frequenzbereich .....	222
10.1.1	Die reelle Fouriertransformation .....	223
10.1.2	Darstellung der Fourierkoeffizienten $c_n$ in LabVIEW .....	226
10.2	Diskrete Fouriertransformation .....	229
10.2.1	Satz von Shannon.....	229
10.2.2	Aliasing .....	231
10.2.3	Frequenzauflösung .....	232
<b>11</b>	<b>Filterung</b> .....	<b>234</b>
11.1	Filtertypen .....	234
11.1.1	Ideale und reale Filter .....	234
11.1.2	Beispiel eines digitalen Filters .....	235
11.2	LabVIEW-Filterfunktionen .....	238
11.3	Filterung im Frequenzbereich.....	240
11.3.1	Idee der Filterung im Frequenzbereich.....	240
11.3.2	Die inverse Fouriertransformation in LabVIEW .....	240
11.3.3	Beispiel eines Tiefpasses .....	241
<b>12</b>	<b>Differenzialgleichungen</b> .....	<b>243</b>
12.1	Lösen mit LabVIEW-ODE-Funktionen .....	243
12.2	Lösen nach dem Analogrechnerprinzip .....	245
12.2.1	Blockdiagramm-Darstellung.....	245
12.2.2	Vereinfachungen.....	248
12.3	Genauigkeit numerischer Verfahren .....	250
<b>13</b>	<b>Systeme von Differenzialgleichungen</b> .....	<b>253</b>
13.1	Systeme gewöhnlicher Differenzialgleichungen .....	253
13.2	Gekoppeltes Feder-Masse-System.....	253
13.2.1	Lösung mit eingebauter ODE-Funktion.....	254
13.2.2	Lösung mit Blockdiagramm wie in MATLAB® .....	255
13.3	Umwelt und Tourismus .....	257

<b>14</b>	<b>Parallelverarbeitung, Laufzeiten, Ereignisse</b>	<b>260</b>
14.1	Einführendes Beispiel .....	260
14.2	Grundbegriffe der Parallelverarbeitung .....	262
14.2.1	Multiprocessing, Multitasking, Multithreading .....	262
14.2.2	Synchronisierung von Prozessen .....	263
14.3	Parallelverarbeitung unter LabVIEW .....	264
14.3.1	Erzeugen von Ressourcen für die Prozesskommunikation .....	265
14.3.2	Freigabe von Ressourcen der Prozesskommunikation .....	267
14.3.3	Zeitbegrenzung Ressource schont Prozessor .....	268
14.4	Prozess-Synchronisierung ohne Datenaustausch .....	268
14.4.1	Occurrences .....	268
14.4.2	Semaphore .....	269
14.4.3	Rendezvous .....	271
14.5	Prozess-Synchronisierung mit Datenaustausch .....	272
14.5.1	Melder-Operationen .....	272
14.5.2	Queue-Operationen .....	273
14.6	Globale Variablen .....	274
14.7	Laufzeitprobleme und ihre Behandlung .....	275
14.7.1	Laufzeitprobleme bei lokalen Variablen .....	275
14.7.2	Laufzeitprobleme bei globalen Variablen .....	278
14.8	Ereignisgesteuerte Programmierung .....	279
14.8.1	Frontpanel-Ereignisse .....	279
14.8.2	Wertänderungs-Ereignisse .....	284
14.8.3	Gefilterte Ereignisse .....	285
14.9	Zeitschleifen .....	287
<b>Teil III: Kommunikation</b>		<b>289</b>
<b>15</b>	<b>Serielle Eingabe/Ausgabe</b>	<b>290</b>
15.1	RS-232 .....	290
15.2	Programmierung der RS-232 in LabVIEW .....	292
15.3	Die USB-Schnittstelle .....	295
15.4	Feld-Bus, CAN-Bus .....	299
15.4.1	CAN-Protokoll .....	299
15.4.2	CAN-Interface .....	301
15.4.3	CANopen-Protokoll, ZILA-Sensor .....	302
15.4.4	CAN-Bus mit Laptop und zwei Sensoren .....	304
15.4.5	XNET-System von National Instruments .....	304
15.5	Der byte-serielle GPIB-Bus .....	315
<b>16</b>	<b>Datenerfassungsgeräte</b>	<b>317</b>
16.1	Datenerfassungskarten/Datenerfassungsgeräte .....	317
16.2	Allgemeines .....	318
16.2.1	Treiber, MAX (Measurement and Automation Explorer) .....	318
16.2.2	Physikalische und virtuelle Kanäle, Task .....	324
16.2.3	Programmierung von Datenerfassungs-VIs, simulierte Geräte .....	325

- 16.2.4 Programmierung von VIs zur Analogausgabe ..... 330
- 16.2.5 Programmierung von VIs zum Digital-I/O ..... 331
- 16.2.6 Programmierung mit Hilfe des DAQ-Assistenten ..... 331
- 16.2.7 Programmatische Task-Erstellung ..... 333
- 16.3 USB-Gerät NI USB-6251 ..... 334
  - 16.3.1 Begriffe 'differenziell', 'RSE' und 'NRSE' ..... 334
  - 16.3.2 Zwei Analogsignale mit der NI USB-6521 lesen ..... 336
  - 16.3.3 Triggern mit NI USB-6521 ..... 337
  - 16.3.4 Streaming mit NI USB-6521 ..... 338
- 16.4 Ältere Datenerfassungskarten/-geräte ..... 345
- 16.5 TEDS ..... 345
- 16.6 IVI-Gerät NI USB-513 ..... 349

**Teil IV: Fortgeschrittene Techniken 355**

**17 Professionelle Programmentwicklung 356**

- 17.1 Sequenzstruktur ..... 356
- 17.2 Zustandsautomaten ..... 357
  - 17.2.1 Notation für Zustandsautomaten ..... 358
  - 17.2.2 Umsetzung Zustandsdiagramm → LabVIEW-Programm ..... 359
    - 17.2.2.1 Strings für die Zustandsauswahl ..... 360
    - 17.2.2.2 Enum für die Zustandsauswahl ..... 362
- 17.3 Münzautomat ..... 363
- 17.4 Münzautomat mit Queues und Ereignisstrukturen ..... 372
- 17.5 Programmierhilfen ..... 376
  - 17.5.1 Arbeiten mit vorgefertigten Strukturen (Templates) ..... 376
  - 17.5.2 Beurteilung Programmeffizienz und geeignete Werkzeuge dazu ..... 376

**18 Objektorientierte Programmierung 380**

- 18.1 Warum objektorientiert? ..... 380
- 18.2 Erstes Beispiel zur objektorientierten Programmierung ..... 383
  - 18.2.1 Bildung einer Klasse ..... 383
  - 18.2.2 Private Eigenschaften der Klasse ..... 384
  - 18.2.3 Methoden der Klasse ..... 385
- 18.3 Weitere Beispiele zur OOP ..... 389
  - 18.3.1 Vererbung ..... 389
  - 18.3.2 Polymorphie ..... 393
  - 18.3.3 Modulaustausch ..... 397
- 18.4 Schutz einer Klassenbibliothek ..... 405

**19 LabVIEW: Tabellenkalkulation, Datenbanken 408**

- 19.1 Schreib-/Lesebefehle zur Tabellenkalkulation ..... 408
- 19.2 Allgemeines über ActiveX ..... 410
  - 19.2.1 ActiveX-Container in LabVIEW ..... 411
  - 19.2.2 ActiveX in LabVIEW zur Steuerung von Anwendungen ..... 413

19.3	Beispiele zur Anwendung auf Excel .....	414
19.3.1	Öffnen und Schließen von Excel.....	415
19.3.2	Sichtbarmachen einer Excel-Tabelle .....	416
19.3.3	Eintragen von Daten in eine Excel-Tabelle .....	418
19.3.4	Geschwindigkeit der Datenspeicherung .....	420
19.3.5	Erstellen von Makros zum Umwandeln einer Tabelle in eine Grafik .....	421
19.3.6	Aufruf von Makros in LabVIEW mit Hilfe von ActiveX .....	424
19.3.7	Erhöhung der Geschwindigkeit .....	425
19.3.8	Schreiben mehrerer Dateien .....	428
19.4	Microsoft-Datenbank Access .....	432
19.4.1	Einführung.....	432
19.4.2	Verbindung mit der Datenbank .....	433
19.4.3	SQL .....	435
19.4.4	Verwendung von SubVIs .....	436
<b>20</b>	<b>Internet, Server und Client</b> .....	<b>437</b>
20.1	Allgemeine Bemerkungen zum Internet.....	437
20.1.1	Ethernet.....	437
20.1.2	Ethernet-Karten, MAC- und IP-Adresse .....	438
20.1.3	TCP/IP-Protokoll .....	438
20.2	Einfaches LabVIEW-Beispiel: Ping.....	439
20.3	Programmieren mit DataSocket.....	441
20.4	Programmieren mit TCP/IP .....	443
20.4.1	Server und Client.....	443
20.4.2	Beispiel für die Übertragung von Sinusdaten über TCP/IP .....	444
20.5	Webdienste .....	447
20.5.1	Grundbegriffe .....	447
20.5.2	Struktur der Webdienstkommunikation .....	448
20.5.3	Erstes einfaches Beispiel .....	448
20.5.4	Zweites einfaches Beispiel .....	453
20.5.5	Drittes Beispiel .....	456
20.5.6	Dreiecksberechnung .....	457
20.5.7	Webserver im Internet .....	462
20.5.7.1	Firmeninternes Netz.....	462
20.5.7.2	Aufruf im Internet .....	463
<b>21</b>	<b>Compact RIO-System und FPGA</b> .....	<b>464</b>
21.1	Definition .....	464
21.2	Installation.....	466
	Schritt 1: Software-Installation auf dem PC.....	466
	Schritt 2: Zusammenstellen der cRIO-Hardware .....	467
	Schritt 3: Zuweisung einer IP-Adresse zum cRIO-System.....	467
	Schritt 4: Installation weiterer Software auf dem cRIO-System .....	470
	Schritt 5: Verbindung eines PC mit einem cRIO-System im Netz .....	470

21.3	Programmierbeispiele für FPGA .....	471
21.3.1	Beispiel zur Digitalausgabe .....	472
21.3.2	Beispiel eines Zählers.....	477
21.3.3	FPGA-Anwendung: Ermittlung eines Frequenzganges .....	479
21.3.4	Umgebungsvariablen .....	489
21.3.4.1	Projekt 'Shared_Einzeln'.....	490
21.3.4.2	Projekt 'Shared_Netzwerk' .....	492
21.3.4.3	Projekt 'Shared_cRIO' .....	495
21.3.5	FPGA-Anwendungen auf dem cRIO-9014 ohne PC-Unterstützung.....	497
21.3.5.1	Projekt 'RIO_MOD1_Switch'.....	497
21.3.5.2	Projekt 'RIO_User1_Switch' .....	499
21.3.5.3	Umstellung des cRIO-Systems von einem Standalone-Projekt zum nächsten .....	502
<b>22</b>	<b>XControls</b> .....	<b>504</b>
22.1	Unterschied zu einfachen Ctls .....	504
22.2	Anzeige der Flugbahn eines Steines.....	504
22.3	Erstellen eines XControls.....	506
22.3.1	Allgemeines Rezept .....	506
22.3.2	Beispiel XControl_Pfeil.xctl .....	508
22.3.3	Eigenschaften in einem XControl .....	514
22.3.4	Bedeutung der Rahmen [1] bis [4] im Fassaden-VI .....	517
22.3.5	Weitere Verbesserungen .....	523
22.4	XControl zur Erstellung von Symbolleisten.....	525
22.4.1	Zustand der Symbolleiste .....	526
22.4.2	Funktionen der Symbolleiste .....	527
22.4.2.1	Symbole hinzufügen .....	527
22.4.2.2	Alle Symbole löschen.....	528
22.4.2.3	Rückmeldung des Symbols, das unter dem Mauszeiger liegt .....	528
22.4.2.4	Anpassung des Erscheinungsbilds an eigene Bedürfnisse .....	532
22.4.3	Leistungsmerkmal 'Status für Speichern umwandeln' .....	532
<b>23</b>	<b>LabVIEW VI-Skripte</b> .....	<b>534</b>
23.1	Was sind VI-Skripte .....	534
23.2	Die VI-Skripte Funktionen in der Palette anzeigen .....	534
23.3	Die VI-Skripte Funktionen .....	536
23.3.1	Neues VI.....	536
23.3.2	Neues VI-Objekt.....	537
23.3.3	VI-Objektreferenz öffnen.....	539
23.3.4	Abstand des neuen VI-Objekts von Referenzobjekt.....	539
23.3.5	GObjects suchen .....	541
23.3.6	GObject-Beschriftung abfragen .....	542
23.3.7	Klassenhierarchie mittels Klassennamen ermitteln .....	542
23.3.8	Weiterführende Informationen .....	544
23.4	Wo werden VI-Skripte eingesetzt? .....	545

---

23.5	Modifizierung der Projektvorlage "Leeres VI" .....	546
23.6	Erstellen eines Quickdrop Plugins mit VI-Skripting.....	550
<b>24</b>	<b>XNodes</b> .....	<b>553</b>
24.1	Einführung .....	553
24.2	Regelungstechnische Anwendung .....	554
24.3	Aufbau eines XNodes .....	556
24.4	Wie bildet man einen XNode?.....	556
24.4.1	Vorbereitende Überlegungen .....	556
24.4.2	Programmierung von NeueKuh.xnode.....	561
24.4.2.1	Template-VI .....	561
24.4.2.2	Ability-VIs .....	562
24.5	Wie ändert man einen XNode? .....	571
24.6	XNodes in der Funktionspalette speichern.....	571
<b>Literatur</b>	.....	<b>575</b>
<b>Index</b>	.....	<b>577</b>