

Das Qwt Handbuch

Andreas Nicolai andreas.nicolai@gmx.de

Version 1.0.0, Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

Über dieses Handbuch	1
1. Überblick über die Qwt Bibliothek	1
1.1. Entwicklungsgeschichte	2
1.1.1. Download der Bibliothek	2
1.2. Widget-Konzept und Erscheinungsbild	2
1.3. Besitzer/Eigentümer-Konzept des QwtPlot-Widgets	2
1.4. Zeichenobjekte und deren Achsenabhängigkeit	3
1.5. Vererbungskonzept	3
1.6. Qwt Designer Plugins	3
2. Erste Schritte und ein interaktives Diagramm	3
2.1. Programmröhrbau	3
2.1.1. QMake Projektdatei	3
2.1.2. Minimalistisches Hauptprogramm	4
2.2. Diagrammelemente hinzufügen	5
2.2.1. Linie hinzufügen	5
2.2.2. Legende hinzufügen	7
2.2.3. Diagrammtitel hinzufügen	7
2.2.4. Diagrammraster hinzufügen	7
2.2.5. Achsenkonfiguration	8
2.2.6. Logarithmische Achsen	9
2.2.7. Markierungslinien	9
2.3. Interaktion mit dem Diagramm	10
2.3.1. Zoomfunktionalität mit QwtPlotZoomer	10
2.3.2. Plotausschnitt verschieben mit QwtPlotPanner	11
3. QWT Widgets und Eingabekomponenten	11
3.1. Schieberegler (Slider)	11
3.2. Drehräder/Einstellräder und	12
3.3. Drehknöpfe	12
3.4. Analoge Zeiger-Anzeigen	13
4. Allgemeine Grundlagen des QwtPlot	13
4.1. Aufbau und Elemente der Diagrammkomponente	14
4.1.1. Achsen und Koordinatensystem	14
4.1.2. Diagrammelemente	14
4.2. Datenhaltung im QwtPlot / QwtSeriesStore	15
4.3. Automatisches Zeichnen oder Zeichnen bei Bedarf	17
5. Kurvendiagramme	18
5.1. Datenübergabe	18
5.2. Liniendiagramm	19
5.3. Stäbchen (Sticks)	19
5.4. Stufendiagramme	20
5.5. Punkte (Dots)	21
5.6. Keine Linie	22
5.7. Symbole/Punkte	22
5.7.1. Symbolstile/Eingebauten Symbolformen	23
5.7.2. Nutzerdefinierte Formen via QPainterPath	23
5.7.3. SVG-Symbole	24
5.7.4. Bild-Symbole (Pixmap)	25
5.8. Intervallkurven	25
5.9. Gestapelte (Intervall-)Kurven/Flächendiagramme	27
6. Balkendiagramme	28
6.1. Grundlegende Eigenschaften der Plots	28
6.2. Bezugslinie	28
6.3. Layout und Abstände	29
6.3.1. AutoAdjustSamples	29
6.3.2. ScaleSamplesToAxes	30
6.3.3. ScaleSampleToCanvas	31
6.3.4. Layout-Empfehlung	31
6.4. Balkenformen und Farben	31

6.5. Balkenbeschriftung auf der X-Achse	32
6.6. Balkenbeschriftungen	33
6.7. Mehrfarbige Balken, Legendeneinträge etc.....	34
6.8. Gestapelte Balkendiagramme oder Balkendiagramme mit mehreren Balken pro Gruppe	34
7. Legende	34
8. Markierungslinien	34
9. Plotachsen	35
9.1. Allgemeine Achsenformatierung.....	35
9.2. Skalen	35
10. QwtText und Sonderformatierungen	35
10.1. MathML	35
11. Interaktiver Zoom und Verschieben von Diagrammausschnitten	35
12. Anpassung/Styling der Qwt Komponenten	35
12.1. Allgemeines zu Farbpaletten.....	35
12.2. Rahmen und Zeichenfläche des Diagramms	35
12.2.1. Farbe und Rahmen des Plots	35
12.2.2. Zeichenfläche	36
13. Exportieren und Drucken	37
13.1. Exportieren des Plots als Pixelgrafik	37
13.1.1. Erstellen einer 1-zu-1 Kopie des Plotwidgets	37
13.1.2. Kopie in die Zwischenablage	37
13.1.3. QwtPlot mit anderer Auflösung abspeichern	37
13.1.4. Diagrammelemente skalieren (DPI ändern)	38
13.2. Exportieren des Plots als Vektorgrafik	38
13.3. Drucken	38
14. Fortgeschrittene Themen	38
14.1. Objekte aus dem QwtPlot loslösen	38
15. Download/Installation/Erstellung der Qwt Bibliothek	39
15.1. Download fertiger Pakete	39
15.1.1. Windows/Mac	39
15.1.2. Linux	39
15.2. Erstellung aus dem Quelltext	39
15.2.1. Windows	39
15.2.2. Linux/Mac.....	40
15.3. Qt Designer Plugins	40
15.4. Verwendung des Plots in eigenen Programmen	40
15.4.1. Windows	40
15.4.2. Linux/Mac.....	40
15.5. Das QwtPlot in eine Designer-Oberfläche/ui-Datei integrieren	40
15.5.1. Definition eines Platzhalterwidgets.....	41
15.5.2. Verwendung der Designer-Plugins	42
16. Über den Autor	42

Über dieses Handbuch

Dieses Projekt ergänzt die API-Dokumentation zur Qwt-Bibliothek und bietet sowas wie ein Programmierhandbuch mit vielen Details zu den Internas der Bibliothek. Der Fokus liegt aber ganz klar auf der **QwtPlot** Diagrammkomponente. Das ist übrigens schon die 2. Auflage (komplett neu überarbeitet), weil es zum Zeitpunkt der ersten Ausgabe noch kein tolles AsciiDoc gab und ich irgendwie beim Textschreiben hängengeblieben bin.

Die englische Version und die PDF-Variante gibt's hier: <https://ghorwin.github.io/qwtbook>.

Die Texte und Bilder stehen unter der Creative-Commons BY-NC Lizenz (siehe Lizenztext im Qwt Handbuch Repository <https://github.com/ghorwin/QwtBook>), können also frei verwendet, modifiziert und angepasst werden, aber bitte nicht publiziert oder zum Training von kommerziellen KI-Systemen benutzt werden. Alle Quelltextbeispiele, sowohl im Text, als auch in den herunterladbaren Tutorial/Beispiel-Quelltextarchiven, stehen unter der MIT-Lizenz und können damit in open-source wie auch kommerziellen Projekten genutzt werden.



Häufig wird das **QwtPlot** ja benutzt, um ein eigenes Postprocessing oder Visualisierungstool zu schreiben. Vielleicht lohnt sich hier der Blick auf das kostenfreie *PostProc 2*, welches wir an der TU Dresden entwickelt haben und das intern ein angepasstes und erweitertes **QwtPlot** verwendet. Das Programm ist spezialisiert auf die Visualisierung von dynamischen Simulationsergebnissen und Messdaten/Zeitreihen und man kann da einen guten Eindruck davon bekommen, was mit **QwtPlot** alles machbar ist. *Postproc 2* wird weiter aktiv gepflegt und kann hier kostenfrei heruntergeladen werden: <https://bauklimatik-dresden.de/software/postproc2/>.

Viel Spaß bei der Lektüre - und falls noch Inhalte fehlen, einfach Geduld haben und später wiederkommen (oder im Github-Repo ein Issue anlegen). Und schaut Euch vielleicht auch meine anderen Tutorials unter <https://schneggenport.de> an!

— Andreas Nicolai

1. Überblick über die Qwt Bibliothek

Qwt - Qt Widgets for Technical Applications ist eine Open-Source Bibliothek für technische Anwendungen und stellt bestimmte Widgets für Anzeigen und Kontrollkomponenten bereit. Die wohl wichtigste Komponente der Qwt Bibliothek ist das **QwtPlot**, eine sehr flexible und mächtige Diagrammkomponente.

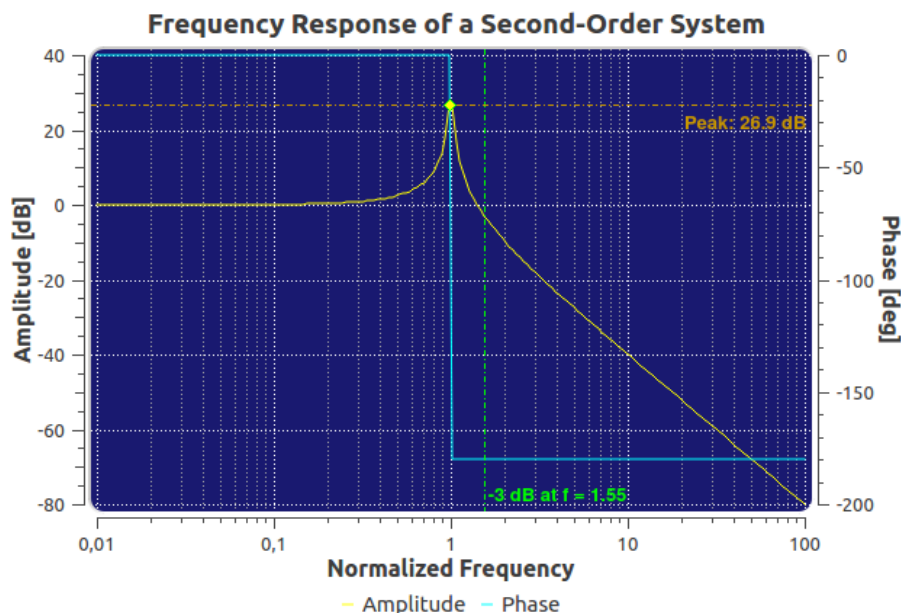


Abbildung 1. Beispiel für die QwtPlot-Komponente

Die Qwt Bibliothek steht unter einer Open-Source-Lizenz, wurde und wird aktiv vom Entwickler *Uwe Rathmann* gepflegt und wird auf SourceForge.net gehostet:

- Qwt Webseite (englisch)

- Qwt SourceForge Projektseite

1.1. Entwicklungsgeschichte

- die erste Version der Qwt-Bibliothek stammt noch aus dem Jahr 1997 von Josef Wilgen
- seit 2002 wird die Bibliothek von *Uwe Rathmann* entwickelt und gepflegt
- Version 5 ist wohl am weitesten verbreitet (erstes Release vom 26.02.2007)
- Version 6 (erstes Release vom 15.04.2011, kein Qt3 Support mehr) enthält wesentliche API-Änderungen
- aktuelle stabile Version 6.3.0 (Stand Mai 2025)
- im trunk gibt es zum Teil bereits wesentlich mehr und fortgeschrittene Funktionen

1.1.1. Download der Bibliothek

Die Qwt Bibliothek kann von der Qwt SourceForge Projektseite als Quelltextarchiv geladen werden. Unter Linux wird Qwt bei vielen Distributionen als Paket gehalten. Genau genommen gibt es mehrere Pakete für die unterschiedlichen Qwt-Bibliotheksversionen bzw. Qt Versionen. Details zur Installation und Verwendung der Bibliothek gibt es im Kapitel 15.

1.2. Widget-Konzept und Erscheinungsbild

Die Qwt Bibliothek liefert Komponenten, welche analog zu den normalen Qt-Widgets in Desktopanwendungen verwendet werden können. Die Komponenten verwenden die Qt Palette, sodass die Qwt-Widgets in die jeweilige Oberfläche passen. Dadurch integrieren sich die Widgets nahtlos in Programmoberflächen. Einzelne Komponenten des **QwtPlot** unterstützen auch Styles. So ermöglichen z.B. Abrundungseffekte beim Plot-Widget das Immitieren klassischer Anzeigen.

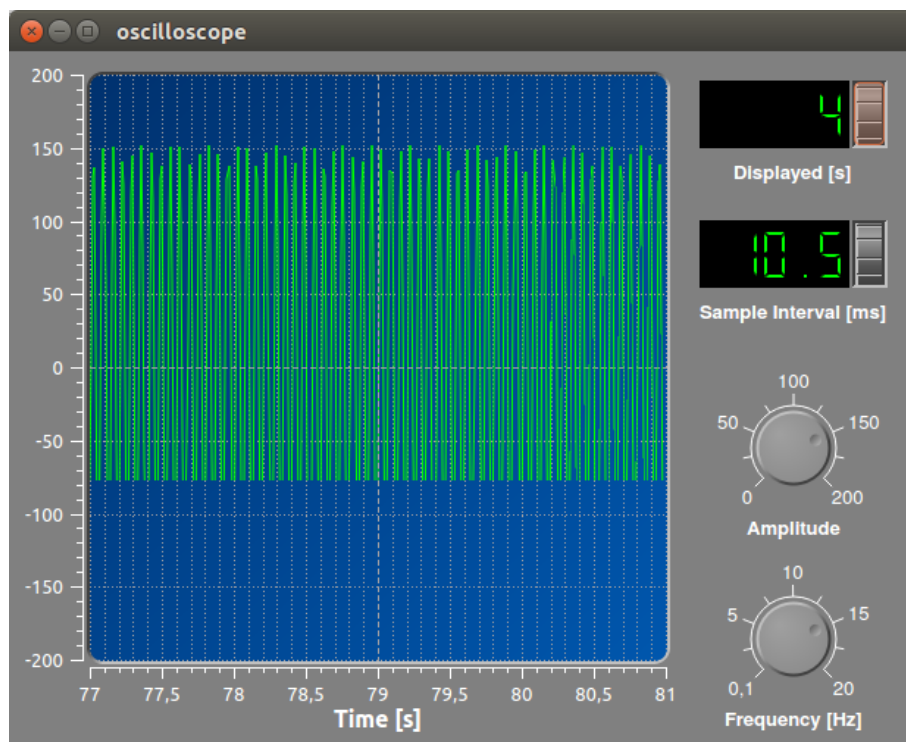


Abbildung 2. QwtPlot mit abgerundeten Ecken

Details zum Styling und zur Anpassung des Erscheinungsbildes sind im Kapitel 12 zu finden.

1.3. Besitzer/Eigentümer-Konzept des QwtPlot-Widgets

Eine grundlegende Eigenschaft der **QwtPlot**-Klasse ist die Besitzübernahme hinzugefügter Elemente. Dies gilt allgemein für alle Elemente des Plots (Linien, Marker, Legende, ...). D.h. nach Übertragung der Eigentümerschaft kümmert sich das **QwtPlot** um das Aufräumen des Speichers.

Einmal hinzugefügte Elemente werden nicht wieder losgelöst werden (bzw. nur über einen Trick, wie im Kapitel 14.1 beschrieben wird). Daher ist es sinnvoll, bei veränderlichen Diagrammelementen einen Mechanismus zur jeweiligen Neuerstellung eines Zeichenobjekts vorzusehen (Factory-Konzept).

1.4. Zeichenobjekte und deren Achsenabhängigkeit

Ein wesentliches Designmerkmal beim **QwtPlot** ist die Möglichkeit, beliebige Zeichenobjekte (Kurven, Marker, Legende, ...) dem Plot zu übergeben. Damit sich diese Zeichenobjekte (engl. *PlotItem*) am Koordinatengitter ausrichten können, wird ihnen eine Achsenabhängigkeit gegeben. Dadurch erhalten diese Zeichenobjekte eine Information, wann immer sich die Achsenskalierung ändert (durch Zoomen, oder Änderung der Wertebereiche etc.).

Diese Funktionalität definiert die zentrale Bedeutung der (bis zu) 4 Achsen im Diagramm. Deswegen sind diese auch fest im **QwtPlot** verankert und werden nicht wie andere Zeichenobjekte beliebig hinzugefügt.

1.5. Vererbungskonzept

Grundsätzlich ist das **QwtPlot** und die beteiligten Klassen auf maximale Anpassungsfähigkeit ausgelegt, d.h. es wird (fast) überall Polymorphie unterstützt. Wenn die eingebaute Funktionalität nicht zureichend ist, kann man einfach immer die entsprechende Klasse ableiten und die jeweils anzupassende Funktion re-implementieren und verändern. Dies wird anhand von Beispielen in den individuellen Kapiteln des Handbuchs beschrieben.

1.6. Qwt Designer Plugins

Die Qwt Bibliothek bringt Plugins für Qt Designer bzw. Qt Creator mit, welche das Einfügen von Qwt-Komponenten in ui-Dateien erleichtert. Es lassen sich jedoch keine QwtPlot-Eigenschaften festlegen oder Kurven hinzufügen. Die eigentliche Anpassung und Ausgestaltung des Plots erfolgt im Quelltext.



Die API der Qt Designer Plugins hat sich in jüngeren Qt Creator-Versionen geändert, weswegen die Qwt Designer Plugins mit aktuellen Qt und Qt Creator Versionen nicht mehr funktionieren selbst wenn man die mit den passenden Bibliotheksversionen kompiliert.

Auch deswegen wird die Konfiguration und Anpassung des **QwtPlot** in diesem Handbuch ausschließlich durch normale API-Aufrufe demonstriert.



Soll das **QwtPlot** auch ohne Designer-Plugins im grafischen QtDesigner-Editor eingefügt werden, kann man einfach ein QWidget einfügen und dieses als Platzhalter für die **QwtPlot**-Klasse definieren, siehe Kapitel 15.5.

2. Erste Schritte und ein interaktives Diagramm

Um mit der Qwt-Bibliothek warm zu werden, erstellen wir in einem einfachen Beispiel ein interaktives Diagramm mit der **QwtPlot**-Komponente. Der komplette Beispielquelltext ist als 7z-Archiv herunterladbar: tutorial1.7z

2.1. Programmrohbau

2.1.1. QMake Projektdatei

Wir beginnen mit der qmake-Projektdatei, in der wir den Pfad für die Header-Dateien der Bibliothek und die zu linkende Bibliothek festlegen. Hier gehe ich davon aus, dass Qwt aus dem 6.3.0er Quelltextarchiv gebaut und lokal in die Standardverzeichnisse (**C:\qwt-6.3.0** unter Windows und **/usr/local/qwt-6.3.0** unter Linux/Mac) installiert wurde. Infos über das Compilieren der Bibliothek aus dem Quelltext und Installation gibt es in Kapitel 15.

```
TARGET    = Tutorial1
QT        += core gui widgets
CONFIG    += c++11

win32 {
    # Pfad zu den Qwt Headerdateien hinzufügen
```

```

INCLUDEPATH += C:/qwt-6.3.0/include
CONFIG(debug, debug|release) {
    QWTLIB = qwtd
}
else {
    QWTLIB = qwt
}
# Linkerpfad
LIBS += -LC:/qwt-6.3.0/lib -l$QWTLIB
}
else {
    # Pfad zu den Qwt Headerdateien hinzufügen
    INCLUDEPATH += /usr/local/qwt-6.3.0/include/
    # Linkerpfad, unter Linux wird standardmäßig nur die release-Version der Lib gebaut und installiert
    LIBS += -L/usr/local/qwt-6.3.0/lib -lqwt
}

SOURCES += main.cpp

```

Dies ist eine `.pro`-Datei für eine Qwt-6.3.0-Installation aus dem Quelltext mit Standardeinstellungen (siehe Kapitel 15.2).



Beachte, dass die im Debug-Modus kompilierte Qwt-Bibliothek ein angehängtes `d` hat. Unter Linux wird standardmäßig nur die release-Version gebaut und installiert, daher braucht man hier die Fallunterscheidung nicht.

2.1.2. Minimalistisches Hauptprogramm

Für die Verwendung des `QwtPlot` braucht man nur eine sehr minimalistische `main.cpp`.

Hauptprogramm, in dem nur das nackte Plot selbst erstellt und angezeigt wird

```

#include <QApplication>

#include <QwtPlot>

int main(int argc, char *argv[]) {
    QApplication a(argc, argv);
    QwtPlot plot;
    plot.resize(800, 500);
    plot.show();
    return a.exec();
}

```



Wenn man das Programm kompiliert hat und ausführen will, beklagt sich Windows über eine fehlende DLL. Dazu in den Projekteinstellungen, unter "Ausführen", im Abschnitt "Umgebung" die PATH-Variable bearbeiten und dort den Pfad `C:\qwt-6.3.0\lib` hinzufügen.

Das Programm zeigt ein ziemlich langweiliges (und hässliches) Diagrammfenster (später wird das noch ansehnlicher gestaltet).

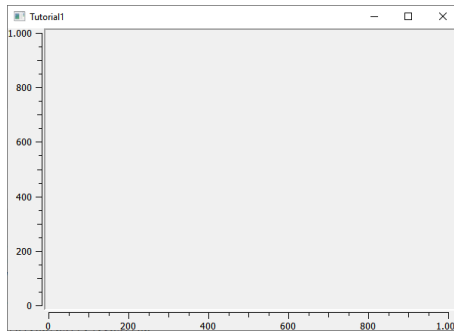


Abbildung 3. Das nackte Plotwidget

Ein Hinweis zu den Header-Dateien der Qwt-Bibliothek.

Analog zu Qt Klassen werden die Qwt-Klassen über den gleichnamigen Header eingebunden, also:

```
#include <QwtPlot>      // für Klasse QwtPlot
#include <QwtPlotCurve> // für Klasse QwtPlotCurve
#include <QwtLegend>    // für Klasse QwtLegend
// ...
```



Diese Header-Dateien sind aber nur Wrapper um die eigentlichen Include-Dateien, mit dem Benennungsschema:

```
#include <qwt_plot.h>      // für Klasse QwtPlot
#include <qwt_plot_curve.h> // für Klasse QwtPlotCurve
#include <qwt_legend.h>    // für Klasse QwtLegend
// ...
```

In früheren Versionen der Qwt-lib (auch der Debian-Paket-Version **libqwt-qt5-dev**) wurden die Wrapper-Headerdateien nach dem neuen Namensschema nicht installiert, sodass man die originalen **qwt_xxx.h** Includes verwenden muss. Wenn man also auch ältere Qwt-Versionen unterstützen möchte, bzw. unter Linux die Paketversion verwenden will, sollte die originalen Headerdateinamen verwenden.

2.2. Diagrammelemente hinzufügen

2.2.1. Linie hinzufügen

Als erstes fügen wir eine Linie bzw. Diagrammkurve hinzu (Header **QwtPlotCurve** bzw. **qwt_plot_curve.h**):

Hauptprogramm mit einer Linie

```
#include <QApplication>

#include <QwtPlot>
#include <QwtPlotCurve>

int main(int argc, char *argv[]) {
    QApplication a(argc, argv);
    QwtPlot plot;
    plot.resize(500,300);

    // etwas Abstand zwischen Rand und Achsentiteln
    plot.setContentsMargins(8,8,8,8);
    // Hintergrund der Zeichenfläche soll weiß sein
    plot.setCanvasBackground( Qt::white );
```



```

// Daten zum Darstellen einlesen
QVector<double> x, y;
QFile f("spektrum.tsv"); // Datei enthält 2 Spalten
f.open(QFile::ReadOnly);
QTextStream strm(&f);
strm.readLine(); // Kopfzeile überspringen
while (!strm.atEnd()) {
    double xval, yval;
    strm >> xval >> yval;
    x.append(xval);
    y.append(yval);
}

QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setPen(QColor(180,40,20), 0);
curve->setTitle("Gamma-Spektrum");
curve->setRenderHint( QwtPlotItem::RenderAntialiased, true ); // Antialiasing verwenden
curve->setSamples(x, y);
curve->attach(&plot); // Plot takes ownership

plot.show();
return a.exec();
}

```

Im erweiterten Hauptprogramm wird zunächst der Header für die **QwtPlotCurve** eingebunden. Das Kurvenobjekt selbst wird mit **new** auf dem Heap erstellt. Die Daten der Kurve lesen wir aus einer Textdatei (2 Spalten, mit Kopfzeile) aus. Die Datei **spektrum.tsv** ist im Archiv des Tutorialquelltextes enthalten.



Grundsätzlich gilt beim **QwtPlot**: Alle Plotelemente *müssen* via **new** auf dem Heap erstellt werden und dem Plot dann übergeben werden. Dieses wird dann Besitzer und gibt den Speicher frei. Deshalb dürfen Linien, Legende, Marker etc. *niemals* als Stack-Variablen erstellt werden, sonst gibt es (je nach Destruktoraufreihenfolge) einen Speicherzugriffsfehler.

Attribute wie Linienfarbe, Titel (wird später in der Legende angezeigt), und Antialiasing werden gesetzt (im Kapitel 5 werden alle Eigenschaften von Linien im Detail erläutert).

Die Funktion **setSamples()** setzt die Daten der Linie. Wichtig ist hier, dass die übergebenen Vektoren die gleiche Länge haben. Es handelt sich um eine parametrische Kurve, d.h. weder x noch y Werte müssen monoton sein oder sonstwelchen Regeln folgen. Jedes x,y Wertepaar definiert einen Punkt und diese Punkte werden mit der Linie verbunden.

Die Funktion **attach()** fügt das **QwtPlotCurve**-Objekt zum Diagramm hinzu.



Beim Hinzufügen der Linie mittels **attach()** zum Diagramm wird das Plot neuer Eigentümer und kümmert sich um das Aufräumen des Speichers. Man muss also nicht mehr manuell **delete** für das **QwtPlotCurve**-Objekt aufrufen.

Zusätzlich zu dem Code, welcher die Linie hinzufügt, wurden noch 2 kleine Anpassungen am Erscheinungsbild vorgenommen:

- Ränder wurden mittels **setContentsMargins()** hinzugefügt (siehe auch **QWidget::setContentsMargins()**)
- der Hintergrund der Zeichenfläche (*canvas*) wurde weiß gefärbt.

Das Ergebnis sieht schon eher nach Diagramm aus.

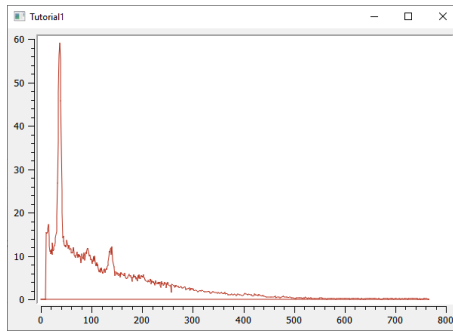


Abbildung 4. Diagramm mit Linie

2.2.2. Legende hinzufügen

Als nächstes wird eine Legende eingefügt (Header `QwtLegend` bzw. `qwt_legend.h`):

```
// Legende anzeigen
QwtLegend * legend = new QwtLegend();
QFont legendFont;
legendFont.setPointSize(8);
legend->setFont(legendFont);
plot.insertLegend( legend , QwtPlot::BottomLegend); // plot takes ownership
```

Auch hier wird oben wieder der Header für die Klasse `QwtLegend` eingebunden.

Die Legende bekommt hier noch einen veränderten Font. Das weitere Anpassen der Legende wird in Kapitel 7 beschrieben.

Die Legende kann links, rechts, oberhalb oder unterhalb der Zeichenfläche liegen, oder in der Zeichenfläche selbst. Die Platzierung wird beim Aufruf von `insertLegend()` festgelegt.

Das Plot nimmt beim Aufruf von `insertLegend()` wiederum Besitz vom Legendenobjekt und kümmert sich um das Aufräumen des Speichers.

2.2.3. Diagrammtitel hinzufügen

```
// Titel hinzufügen
QwtText text("Gamma-Spektrum");
QFont titleFont;
titleFont.setBold(true);
titleFont.setPointSize(10);
text.setFont(titleFont);
plot.setTitle(text);
```

Die Klasse `QwtText` (Header `QwtText` bzw. `qwt_text.h`) kapselt einen `QString` und ergänzt Funktionalität zum Rendern von mathematischen Symbolen mittels MathML (siehe Kapitel 10.1).

2.2.4. Diagrammraster hinzufügen

Gitterlinien werden durch das Zeichenobjekt `QwtPlotGrid` gezeichnet (Header `QwtPlotGrid` bzw. `qwt_plot_grid.h`):

```
// Haupt- und Nebengitter anzeigen
QwtPlotGrid *grid = new QwtPlotGrid();
QPen gridPen(Qt::gray);
gridPen.setStyle(Qt::DashLine);
grid->setMajorPen(gridPen);
// Minor grid
```

```
grid->enableYMin( true );
gridPen.setColor(Qt::lightGray);
gridPen.setStyle(Qt::DotLine);
grid->setMinorPen(gridPen);
grid->attach( &plot ); // plot takes ownership
```

Das Raster selbst kann hinsichtlich der Stifte (QPen) für das Haupt- und Nebengitter angepasst werden. Die Funktion `enableYMin()` schaltet das Nebengitter für die Y-Achse ein. Wie auch bei den Plotkurven übergibt `attach()` das `QwtPlotGrid` Objekt an das `QwtPlot`, welches sich dann um die Speicherverwaltung kümmert.



Ein Raster wird standardmäßig an eine x- und y-Achse gebunden, wobei man aber auch die Gitterlinien für eine der Achsen ausblenden kann. Wenn man z.B. ein Diagramm mit 2 y-Achsen hat und für jede ein Gitterraster anzeigen möchte (auch wenn das meistens verwirrend aussieht), dann braucht man zwei `QwtPlotGrid`-Objekte.

Inzwischen sieht das Diagramm schon ganz ansehnlich aus.

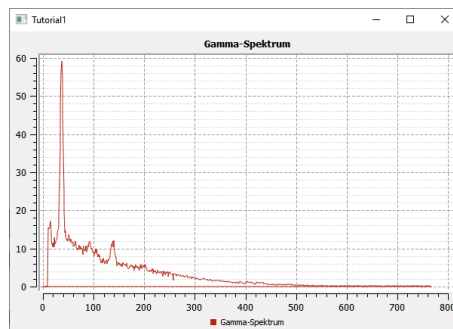


Abbildung 5. Diagramm mit Linie, Legende, Titel und Gitterlinien

2.2.5. Achsenkonfiguration

Das `QwtPlot` hat 4 Achsen eingebaut, genannt:

- `QwtPlot::yLeft` und `QwtPlot::yRight`
- `QwtPlot::xBottom` und `QwtPlot::xTop`

Standardmäßig sind die Achsen `xBottom` und `yLeft` sichtbar, wie im bisher verwendeten Plot.

Jedes Zeichenelement im Plot (Kurven, Marker, ...) wird einer oder mehrerer Achsen zugeordnet. In unserem Einführungsbeispiel verwendet die `QwtPlotCurve` standardmäßig die Achsen `xBottom` und `yLeft`.

Die Achsen können wie folgt konfiguriert werden.

```
// Achsen formatieren
QFont axisFont;
axisFont.setPointSize(8);
axisFont.setBold(true);
QFont axisLabelFont;
axisLabelFont.setPointSize(8);
// X-Achse
QwtText axisTitle("Kanal");
axisTitle.setFont(axisFont);
// Titel Text und Font setzen
plot.setAxisTitle(QwtPlot::xBottom, axisTitle);
// Font für Achsenzahlen setzen
plot.setAxisFont(QwtPlot::xBottom, axisLabelFont);
// Y-Achse
axisTitle.setText("Ereignisse");
plot.setAxisTitle(QwtPlot::yLeft, axisTitle);
```

```
plot.setAxisFont(QwtPlot::yLeft, axisLabelFont);
```

Der Titel jeder Achse wird wiederum über ein `QwtText`-Objekt (enthält Text und Font) gesetzt. Der Font für die Zahlen an den Achsen selbst wird über `setAxisFont()` geändert.

Die Achsen selbst lassen sich vielfältig anpassen, siehe Kapitel 9.

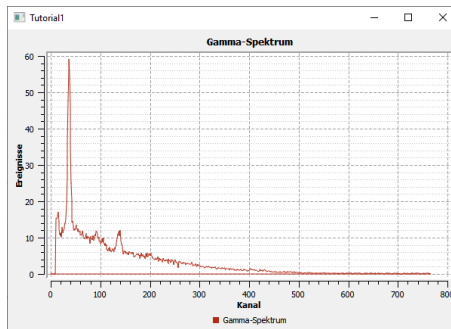


Abbildung 6. Vollständig formatiertes Diagramm

Die Achsen passen sich standardmäßig automatisch an den Wertebereich der angezeigten Kurven an. Das kann man natürlich auch ändern, siehe Kapitel 9.

2.2.6. Logarithmische Achsen

Das `QwtPlot` kann auch logarithmische Achsen verwenden. Dazu muss man eine anderen Skalenberechnungsklasse einbinden, die `QwtLogScaleEngine` (Header `QwtLogScaleEngine` bzw. `qwt_scale_engine.h`):

```
// Logarithmische Y-Achse
QwtLogScaleEngine * logScale = new QwtLogScaleEngine();
plot.setAxisScaleEngine(QwtPlot::yLeft, logScale); // plot takes ownership
// manuelle Achsenlimits festlegen, da autoscale bei log-Achsen nicht sinnvoll funktioniert
plot.setAxisScale(QwtPlot::yLeft, 1e-3, 1000);
```

Beim Aufruf von `setAxisScaleEngine()` nimmt das Plot wiederum das Objekt in Besitz und kümmert sich dann um das Speicheraufräumen.

Kapitel 9 beschreibt die Details der `ScaleEngine` und gibt weitere Beispiele.

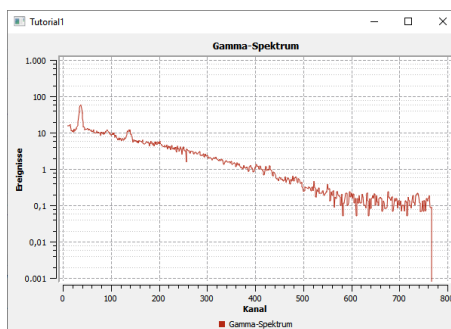


Abbildung 7. Diagramm mit logarithmischer Y-Achse

2.2.7. Markierungslinien

Ein weiteres Zeichenelement, das man hin und wieder braucht, sind horizontale oder vertikale Markierungslinien. Beispielhaft fügen wir eine solche Linie mal dem Plot hinzu (Header `QwtPlotMarker` bzw. `qwt_plot_marker.h`):

```
// Vertikale, gestrichelte Plot-Markierung einfügen
```

```

QtPlotMarker * marker = new QtPlotMarker("207,50 keV");
marker->setLabelOrientation(Qt::Vertical); // Vertikale Linie
marker->setLabelAlignment(Qt::AlignRight | Qt::AlignBottom); // Label unten und rechts von der Linie
marker->setValue(36, 0); // bei vertikalen Linien muss die x-Koordinate festgelegt werden
QPen markerPen(QColor(40,60,255));
markerPen.setStyle(Qt::SolidLine);
marker->setLinePen(markerPen);
marker->setLineStyle(QtPlotMarker::VLine);
marker->setLabel(QtText("207,50 keV"));
marker->attach(&plot); // plot takes ownership

```

Auch bei den Markern gibt es vielfältige Einstellungsmöglichkeiten, siehe Kapitel 8.

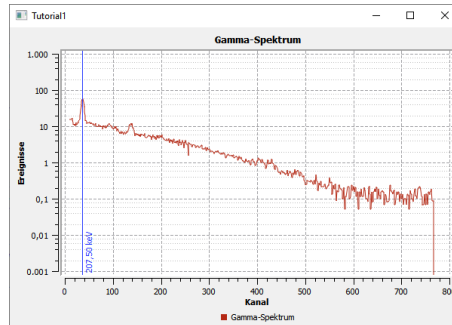


Abbildung 8. Diagramm mit logarithmischer Y-Achse und vertikaler Peak-Markierung

Nun ist das Diagramm selbst fertig und wir widmen uns der Nutzerinteraktion.

2.3. Interaktion mit dem Diagramm

Das `QtPlot` bietet die üblichen Interaktionsmöglichkeiten für den Anwender, wie z.B. Herein- und Herauszoomen, oder Verschieben des Plotausschnitts.

2.3.1. Zoomfunktionalität mit `QtPlotZoomer`

Die Zoom-Funktionalität wird über die Klasse `QtPlotZoomer` hinzugefügt (Header `QtPlotZoomer` bzw. `qwt_plot_zoomer.h`):

```

// Zoomer hinzufügen
// Achtung: NICHT QtPlot selbst als 3 Argument übergeben, sonder das canvas()
QtPlotZoomer * zoomer = new QtPlotZoomer(QtPlot::xBottom, QtPlot::yLeft, plot.canvas()); // plot takes ownership
zoomer->setTrackerMode( QtPlotPicker::AlwaysOn ); // Kurvenwerte unterm Cursor anzeigen

```

Wenn man mit der Maus über das Diagramm fährt, sieht man bereits einen veränderten Cursor und dank des Aufrufs `setTrackerMode(QtPlotPicker::AlwaysOn)` sieht man nun auch die x- und y-Werte (des Achsen `xBottom` und `yLeft`) unter dem Cursor.

Hineinzoomen kann man, indem man die Linke Maustaste gedrückt hält, und ein Zoom-Rechteck aufzieht. Das kann man auch mehrmals hintereinander machen. Das `QtPlot` merkt sich intern diese Zoomstufen. Herauszoomen kann durch Klick auf die rechte Maustaste, wobei immer eine Zoomstufe hinausgezoomt wird.



Die äußerste Zoomstufe wird im Konstruktor der `QtPlotZoomer`-Klasse basierend auf den aktuellen Wertebereichen der *bereits hinzugefügten Kurven* bestimmt. Sollte man die Werte der Kurven nachträglich ändern, oder den Zoomer hinzufügen, *bevor* man dem Plot Kurven gegeben hat, so kann man die Funktion `QtPlotZoomer::setZoomBase()` aufrufen. Details dazu gibt es im Kapitel 11.

Im Quelltext gibt es noch eine Besonderheit. Während die bisherigen Plotelemente immer mit Memberfunktionen der `QtPlot`-Klasse hinzugefügt wurde, bzw. mittels `attach()`, wird das Zoomerobjekt analog zu Qt Klassen als Kindobjekt der Zeichenfläche gegeben und registriert sich darüber als interaktives Element bei Plot.



Es ist wichtig darauf zu achten, dass man beim Konstruktor der Klasse `QwtPlotZoomer` als 3. Argument das Canvas-Objekt des Plots übergibt. Dieses erhält man mit der Funktion `QwtPlot::canvas()`. Wenn man hier stattdessen das Plot selbst übergibt, führt dies zu einem Speicherzugriffsfehler.

Im Konstruktor der `QwtPlotZoomer` Klasse registriert sich das Objekt als Kind des Canvas-Widgets, wodurch das QObject-System sich um die Speicherverwaltung kümmert. Man muss also das `QwtPlotZoomer` Objekt nicht freigeben.

Damit der Zoomer weiß, welche Achsen beim Zoom manipuliert werden sollen, muss man die x- und y-Achse im Konstruktor angeben. Möchte man z.B. beide y-Achsen gleichzeitig zoomen, braucht man zwei `QwtPlotZoomer`-Objekte.

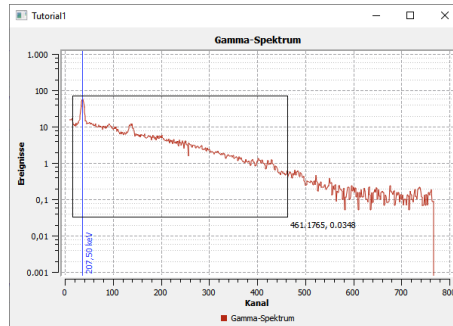


Abbildung 9. Diagramm mit aufgezoogenem Zoom-Rechteck

2.3.2. Plotausschnitt verschieben mit `QwtPlotPanner`

Wenn man Ausschnitt eines hineingezoomten Plots interaktiv verschieben möchte, kann man den `QwtPlotPanner` hinzufügen (Header `QwtPlotZoomer` bzw. `qwt_plot_zoomer.h`):

```
// Panner hinzufügen, wie auch beim PlotZoomer muss das Canvas-Objekt als Argument übergeben werden
QwtPlotPanner * panner = new QwtPlotPanner(plot.canvas()); // plot takes ownership
panner->setMouseButton(Qt::MidButton); // Mittlere Maustaste verschiebt
```

Wie beim `QwtPlotZoomer` wird das Objekt als Kindobjekt des Canvas-Widgets hinzugefügt. Üblich ist das Verschieben von Bildschirmgehalten mit gedrückter mittlerer Maustaste, also legt man das mit `setMouseButton()` fest.

Damit ist das Einstiegstutorial beendet. Mit dem `QwtPlot` kann man bereits mit wenigen Handgriffen ein voll funktionsfähiges und interaktives Diagramm erstellen. In diesem Tutorial war das `QwtPlot` gleichzeitig das Anwendungs-Widget. Wenn man das `QwtPlot` aber in bestehende Designer-Formularklassen einfügen will, gibt es verschiedene Techniken:

- die Verwendung von Platzhalter-Widgets
- die Einbindung von Qt Designer Plugins für die Qwt Bibliothek

Diese Methoden sind in Kapitel 15.5 beschrieben.

3. QWT Widgets und Eingabekomponenten

Neben dem `QwtPlot` gibt es in der Qwt-Bibliothek noch eine Reihe anderer Eingabekomponenten, die in diesem Kapitel kurz vorgestellt werden. Viele dieser Komponenten sind klassischen Anzeigen und Einstellrädern in wissenschaftlich/technischen Geräten nachempfunden.

Für die Anzeige der Skalen verwenden die nachfolgend vorgestellten Komponenten intern zur Darstellung der Skalen die in `[sec::axisScales]` näher beschriebenen Skalenberechnungs- und -zeichenklassen.

3.1. Schieberegler (Slider)

Die Klasse `QwtSlider` erlaubt die Darstellung verschiedener Schieberegler, welche mit der Maus oder Tastatur (Cursortasten) bedient werden können. Im Gegensatz zur `QSlider` Klasse können die Skalen viel flexibler und auch nichtlinear definiert werden.

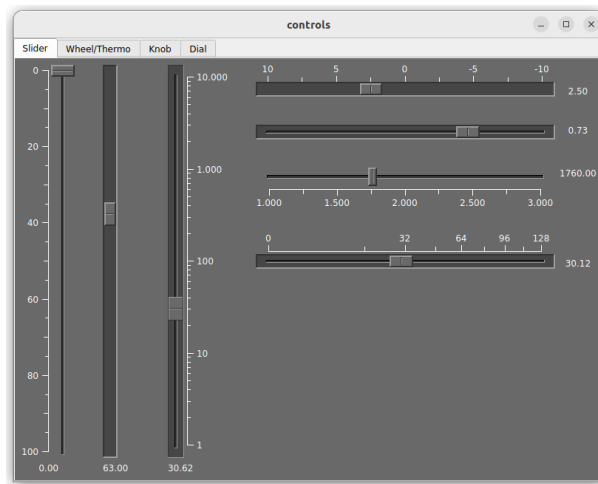


Abbildung 10. Beispiele für `QwtSlider`

Das Beispiel im Screenshot oben ist in der Qwt-Bibliothek als Beispiel `controls` enthalten.

3.2. Drehräder/Einstellräder und

Die Klasse `QwtWheel` zeigt ein horizontales oder vertikales Einstellrad. Die Klasse `QwtThermo` zeigt eine Balkenanzeige, allerdings mit einer flexibel hinterlegbaren Farbtabelle. Dies erlaubt z.B. Farbverläufe oder Farbsprünge bei Übersteigen bestimmter Schwellwerte.

Qt selbst bietet für eine Balkenanzeige die Klasse `QProgressBar` an, welches sich aber im Erscheinungsbild an den jeweiligen Plattformstil für Fortschrittsbalken orientiert und auch keine Skalen bietet.

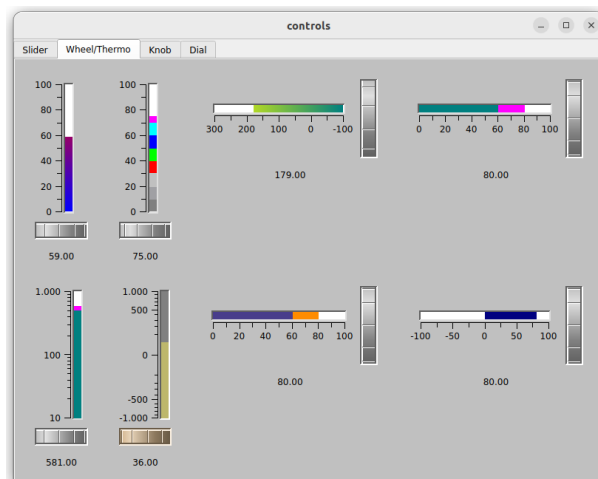


Abbildung 11. Beispiele für `QwtWheel` und `QwtThermo`

Das Beispiel im Screenshot oben ist in der Qwt-Bibliothek als Beispiel `controls` enthalten.

3.3. Drehknöpfe

Die Klasse `QwtKnob` zeigt einen Drehknopf, mit ebenso flexibel konfigurierbaren Skaleneinheiten. Die Qt-Klasse `QDial` bietet ebenso ein Einstellrad, jedoch wiederum viel simpler und mit weniger Einstellungsmöglichkeiten hinsichtlich der Skalendarstellung und -skalierung.

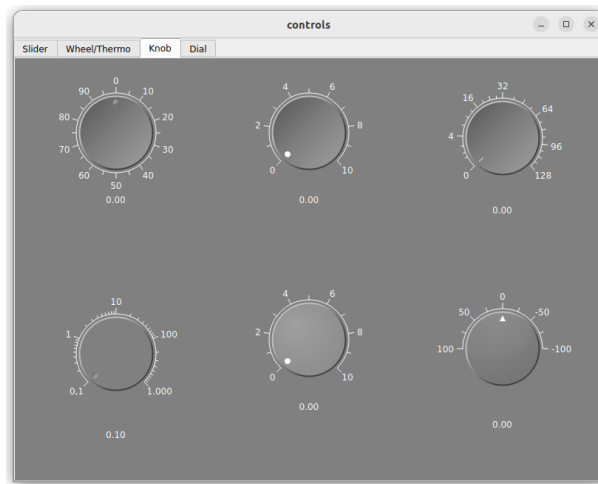


Abbildung 12. Beispiele für QwtKnob

Das Beispiel im Screenshot oben ist in der Qwt-Bibliothek als Beispiel `controls` enthalten.

3.4. Analoge Zeiger-Anzeigen

Die Klasse `QwtDial` zeichnet analoge Zeigeranzeigen, die aber auch mit der Maus/Tastatur verändert werden können (wenn man das aktiviert). Die Anzeigen lassen sich farblich sehr individuell konfigurieren.



Abbildung 13. Beispiele für QwtDial

Das Beispiel im Screenshot oben ist in der Qwt-Bibliothek als Beispiel `controls` enthalten.

Bemerkenswert ist vielleicht noch, dass die Anzeigenadel selbst unabhängig von der Klasse `QwtDial` durch eine separate Klasse implementiert wird. Als Standard wird hier `QwtDialSimpleNeedle` verwendet, wie im Screenshot oben. Man kann sich hier aber auch austoben, und selber beliebige Anzeigenadeln entwerfen und integrieren.

4. Allgemeine Grundlagen des QwtPlot

Das `QwtPlot` ist sicher die nützlichste und am weitesten bekannte Komponente der Qwt Bibliothek. Im Gegensatz zu vielen anderen Qt-Diagrammkomponenten, kann man mit dem `QwtPlot` wirklich sehr flexibel (und effizient) alle möglichen Diagrammtypen erstellen und anzeigen.

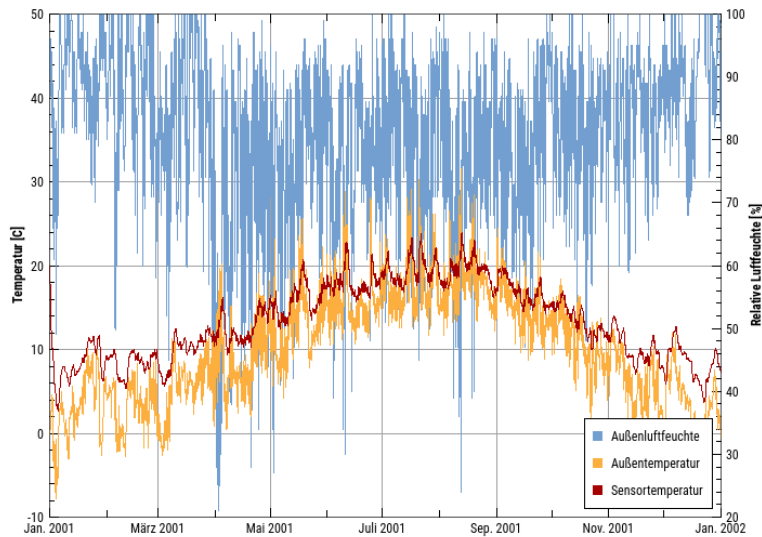


Abbildung 14. Beispiel für ein typisches **QtPlot** mit zwei y-Achsen und innenliegender Legende.

Bevor ab Kapitel 5 die einzelnen Diagrammtypen vorgestellt werden, geht es in diesem Kapitel um die wesentlichen Grundlagen.

4.1. Aufbau und Elemente der Diagrammkomponente

Das **QtPlot** besteht aus einem Titel, umliegenden Achsen, Legenden und der eigentlichen Zeichenfläche. Alle diese Elemente können konfiguriert und sichtbar/unsichtbar geschaltet werden.

4.1.1. Achsen und Koordinatensystem

Das Diagramm selbst ist ein kartesisches Diagramm mit maximal 4 Achsen, identifiziert über folgende Enumerationswerte:

- `QtPlot::xBottom`
- `QtPlot::xTop`
- `QtPlot::yLeft`
- `QtPlot::yRight`

Diese Achsen haben primär die Aufgabe, zwischen den Koordinaten des Plots (x,y) und Bildschirmkoordinaten umzurechnen. Jede der vier Achsen kann individuell konfiguriert werden, welches sich auf die min/max-Werte und die Achsenskalierung auswirkt.

4.1.2. Diagrammelemente

Innerhalb der Zeichenfläche kann man nun die verschiedensten Elemente zeichnen, bspw.:

- Linien,
- Balken,
- Symbole,
- Markierungen,
- Legendeneinträge,
- Gitterraster,
- ... und viele weitere

Alle diese Objekte sind von der Basisklasse **QtPlotItem** abgeleitet und teilen sich dadurch gewisse gemeinsame Eigenschaften.

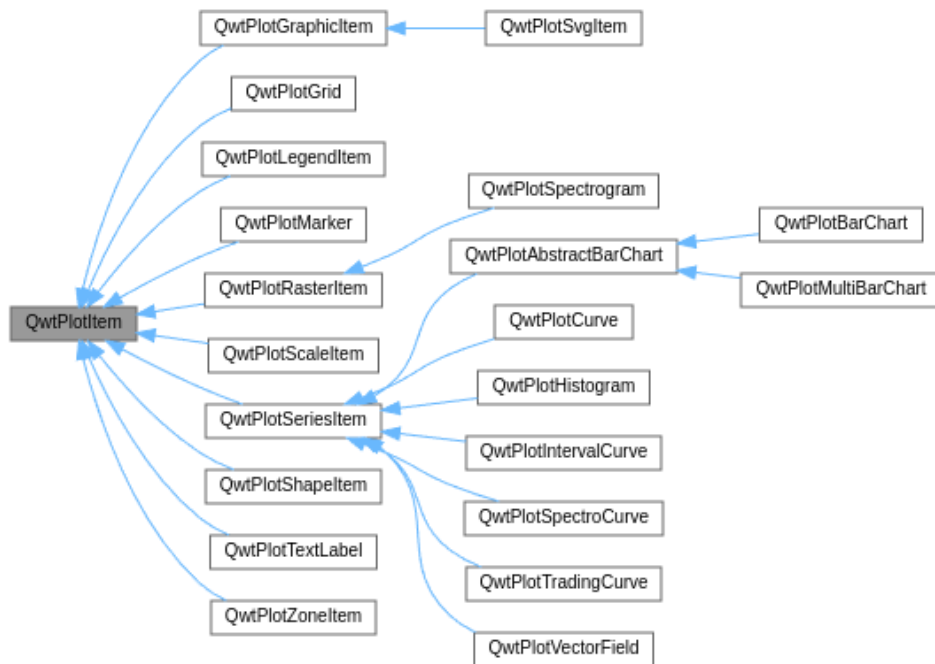


Abbildung 15. Von `QwtPlotItem` abgeleitete Klassen der verschiedenen Zeichenelemente

In einem Diagramm kann man alle möglichen Elemente kombinieren, also auch Liniendiagramme mit Balken, Symbolen und Markierungen darstellen.



Die Zeichenreihenfolge, also welches Zeichenelement ein anderes überdeckt, bestimmt das `z`-Attribut. Dies wird über die Funktionen `QwtPlotItem::setZ(...)` und `::z()` kontrolliert.

Die Positionierung der Diagrammelemente erfolgt über die Plotkoordinaten. Die Umrechnung in Bildschirmkoordinaten bzw. die konkrete Position auf der Zeichenfläche wird mittels der jeweils zugeordneten `x`- und `y`-Achse gemacht. Da es nun jeweils zwei `x`- und `y`-Achsen gibt, braucht man also bei Anzeige eines Diagrammelements an einem bestimmten `x,y`-Datenpunkt zwingend eine Zuordnung zu *einer* `x`- und *einer* `y`-Achse. Diese Eigenschaft setzt man den einzelnen Zeichenelementen, wobei standardmäßig `xBottom` und `yLeft` ausgewählt sind.



Die Zuordnung eines Zeichenelements zu einer Achse erfolgt mit den Memberfunktionen `QwtPlotItem::setAxes(...)`, `QwtPlotItem::setXAxis(...)`, `QwtPlotItem::setYAxis(...)`.

Alle Zeichenelemente werden *grundsätzlich* auf dem Heap mit `new` erstellt und mittels der Memberfunktion `QwtPlotItem::attach(...)` dem eigentlichen `QwtPlot` hinzugefügt.



Beim Aufruf von `attach()` wird das Zeichenelement in die Obhut des `QwtPlot` übergeben, welches sich dann um das Aufräumen des Speichers kümmert. Möchte man das Zeichenelement wieder zurückerhalten, ruft man die Memberfunktion `detach()` auf. Damit übernimmt man dann selbst wieder die Verantwortung für das Speicherbereinigen.

Das `QwtPlotItem` deklariert und implementiert auch die virtuellen Funktionen für das Zeichnen sowie Berechnen wichtiger Layoutdaten. Dies wird aber später in den fortgeschrittenen Kapiteln noch genauer erklärt. Nun aber zu den individuellen Zeichenelementen und daraus erstellten Diagrammtypen.

4.2. Datenhaltung im `QwtPlot` / `QwtSeriesStore`

Für die Darstellen von Plotkurven/Balken oder anderen Zeichenelementen werden die Daten für mehrere Datenpunkte (*samples*) benötigt. Es gibt verschiedene Typen von *samples*, je nach Anforderung des Zeichenelements. So brauchen Linienkurven normalerweise `x,y`-Wertepaare, aber Intervallkurven jeweils `x,y1,y2`-Tuples.

Alle Zeichenelemente, welche solche Reihendaten verwenden, sind Kinder der Klasse `QwtPlotSeriesItem`.

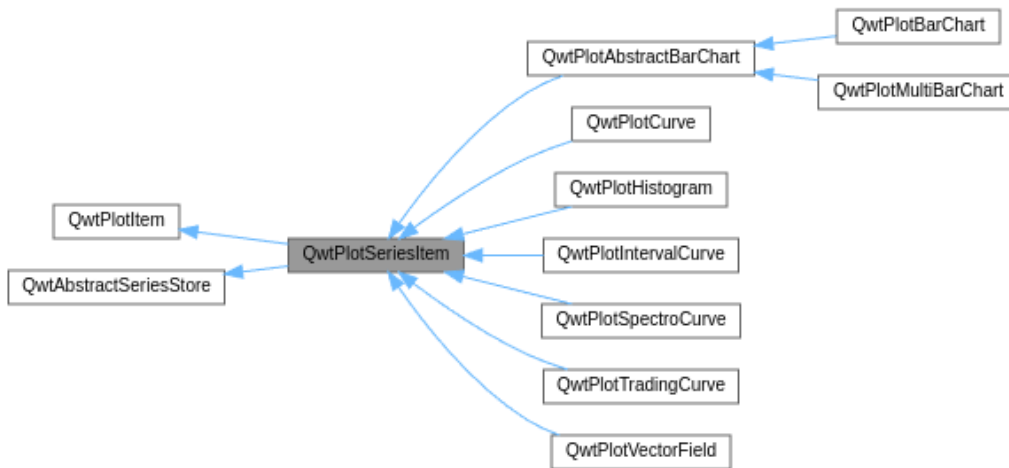


Abbildung 16. Klasse `QwtPlotSeriesItem`, Elternklassen und abgeleitete Klassen

Die Datenhaltung erfolgt in der Template-Klasse `QwtSeriesStore`, welche die abstrakte Schnittstellenklasse `QwtAbstractSeriesStore` implementiert.



Die hier in Qwt verwendete Kombination von Template-Klassen für die Datenhaltung individueller Typen und gleichzeitig Implementierung gemeinschaftlicher Klassenfunktionalität via virtueller Funktionen, zeigt mal wieder schön die Flexibilität von C++.

Allerdings macht es das Verständnis der Interaktion von Datenhalteklassen und die Zeichenelement-Klassen auf den ersten Blick etwas komplizierter. Glücklicherweise muss man das für die Verwendung des `QwtPlot` gar nicht so genau wissen.

Je nach Anforderung des individuellen Zeichenelements/Diagrammtyps werden unterschiedliche Daten benötigt:

- `QPointF` für reguläre Reihen-/Seriendiagramme (Linien)
- `QwtIntervalSample` für Histogramme und Intervallkurven
- `QwtPoint3D` für Spektrogrammplots (Farbverlaufsdigramme)
- `QwtOHLCSample` für Trading-Curves (OHLC - Open-High-Low-Close)
- `QwtVectorFieldSample` für Vektorfelder

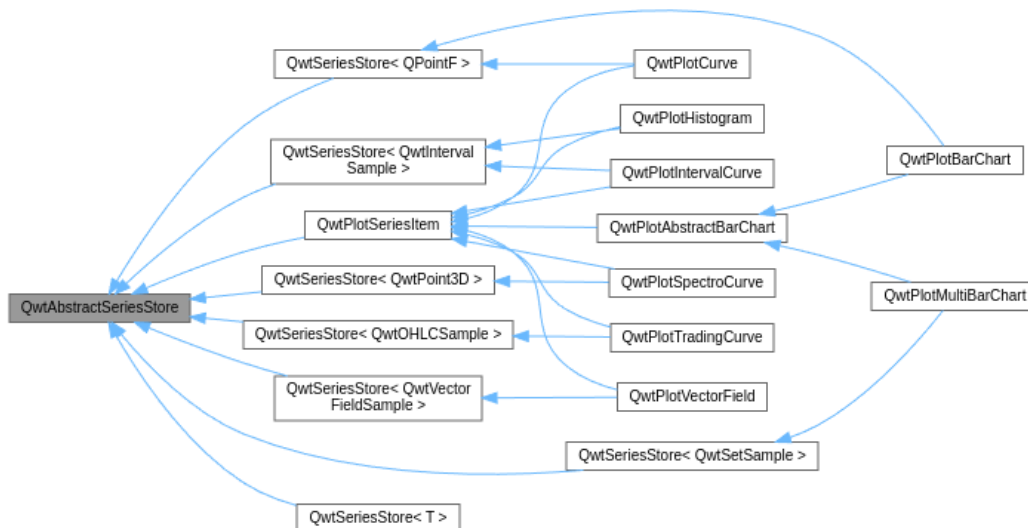


Abbildung 17. Abstrakte Klasse *QwtAbstractSeriesStore* und abgeleitete Klassen



Die meisten Diagrammelemente/Diagrammklassen haben geeignete Schnittstellenfunktionen für die Übergabe der Plotdaten ans Diagramm. Daher muss man selten direkt mit **QwtSeriesStore** arbeiten. In den nachfolgenden Kapiteln wird dies jeweils individuell erklärt.

4.3. Automatisches Zeichnen oder Zeichnen bei Bedarf

Das Zeichnen eines komplexen Plots kann durchaus länger dauern, daher ist es bei Anpassungen des Plots häufig nicht notwendig, bei jeweil individuellen Änderung alles neu zu zeichnen. Stattdessen reicht es aus, nach Aktualisierung aller Daten und Anpassung anderer Einstellungen (Achsen, Legenden,...) das Plot neu zu zeichnen.

Zeichnen bedeutet hier eigentlich zwei unterschiedliche Arbeitsschritte:

1. Neuberechnung des Layouts, d.h. Größen für Achsen, Legenden, Titel, Label, Zeichenfläche etc.. Dabei erfolgt auch eine Neuberechnung der Achsenskalierung und damit der Zuordnung von Plot-Koordinaten zu Pixelgrößen
2. Das eigentliche Zeichnen (*render*) des Plots

Schritt 1 wird ausgeführt, wenn man **QwtPlot::replot()** aufruft. Standardmäßig wird das immer gemacht, wenn man irgendeine Ploteigenschaft ändert. Diesen automatischen Aufruf kann man mit **QwtPlot::setAutoReplot()** an/ausschalten.

```
// Automatisches Neu-Layouten ausschalten
plot->setAutoReplot(false);
```



Der Aufruf von **replot()** direkt oder indirekt bei Änderungen, wenn *autoReplot* angeschaltet ist, führt nicht zu dem teils zeitaufwändigen Rendern des Plots. Je nach Komplexität des Plots und Größe der Daten ist das sogar sehr schnell. Daher ist das Ausschalten des Auto-Plots selten aus Performancegründen notwendig.

Ein Ausschalten des *autoReplot* kann aber sinnvoll sein, wenn bei Anpassungen von individuellen Ploteigenschaften ein zwischenzeitlich inkonsistenter Zustand eintreten könnte, wo ein Neulayouten nur Quatsch erzeugen könnte oder sowas wie *Division durch Null* erzeugen könnte. Dann wartet man besser, bis alle Plot-/Kurveigenschaften fertig aktualisiert wurden und ruft dann **replot()** auf.

Nach einem Aktualisieren des Layouts in **replot()** wird ein Zeichenupdate via Qt-Event-Queue angestoßen. Gezeichnet/gerendert wird dann *erst im nächsten Bildrefresh* und auch nur *ein Mal*. Somit kann man gerne 1000 Mal **replot()** aufrufen, und es wird doch nur einmal gerendert. Dies spart sehr viel Zeit.

5. Kurvendiagramme

Die wohl häufigste Diagrammart werden wohl Kurvendiagramme sein. Kurvendiagramme bzw. Liniendiagramme sind parametrische Kurven, bei denen die einzelnen Punkte nacheinander gezeichnet werden, und im Fall von Liniendiagrammen durch Linien verbunden werden. Weder x- noch y-Werte müssen monoton steigen.

Das Zeichenelement `QwtPlotCurve` wird jedoch nicht nur für Liniendiagramme im klassischen Sinn benutzt, sondern auch für Stufen, Stäbchen, Punkt/Symbol-Diagramme und so weiter. Alle diese Varianten haben jedoch gemein, dass sie als Daten einen x- und einen y-Vector mit Daten in Plotkoordinaten erwarten.

Der individuelle Stil der Kurve wird mit der Funktion `QwtPlotCurve::setStyle()` festgelegt. Je nach Stil können/müssen weitere Parameter festgelegt werden. In den folgenden Abschnitten werden die möglichen Diagrammtypen für jeweils die gleichen x/y-Daten im Vergleich gezeigt.

Tabelle 1. Testdaten für die nachfolgenden Diagramme

x	y
1	5
2	4
5	8
6	8
10	4
12	5
15	8
16	9
17	11

5.1. Datenübergabe

Wie in Kapitel 4.2 erklärt, wird für die interne Datenhaltung in `QwtPlotCurve` die Klasse `QwtSeriesStore<QPointF>` verwendet.

Daten kann man nun auf mehrere Arten der Plot-Kurve übergeben:

Verwendung zweier `QVector<double>` (oder analog `QVector<float>`)

```
QVector<double> x{1,2,5,6,10,12,15,16,17};
QVector<double> y{5,4,8,8, 4, 5, 8, 9,11};
curve->setSamples(x, y);
```

Verwendung eines `QVector<QPointF>`

```
QVector<QPointF> samples{
    QPointF(1,5),
    QPointF(2,4),
    QPointF(5,8)
};
curve->setSamples(samples);
```

Wenn die Daten in einem C-Array oder `std::vector` vorliegen, bietet sich `QwtPlotCurve::setSamples()` an.

Übergabe der Daten direkt im Speicher

```
std::vector<double> x{1,2,5,6,10,12,15,16,17};
std::vector<double> y{5,4,8,8, 4, 5, 8, 9,11};
```

```
const double * xdata = x.data();
const double * ydata = y.data();
unsigned int count = x.size();

curve->setSamples(xdata, ydata, count);
```



Bei der Verwendung von `QwtPlotCurve::setSamples()` werden die Daten *immer* in den interne `QwtSeriesStore` der Plot-Kurve *kopiert*, auch wenn man hier direkt die Adresse des Speichers mit den Daten übergibt.

5.2. Liniendiagramm

Konfiguration einer `QwtPlotCurve` als Linie:

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Lines);
```

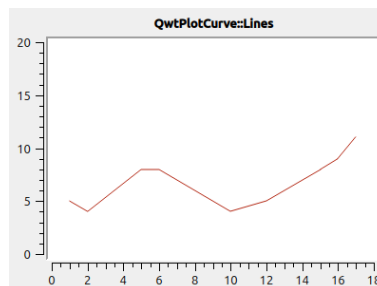


Abbildung 18. Liniendiagramm

5.3. Stäbchen (Sticks)

Konfiguration einer `QwtPlotCurve` als vertikale Stäbchen:

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Lines);
curve->setOrientation(Qt::Vertical);
```

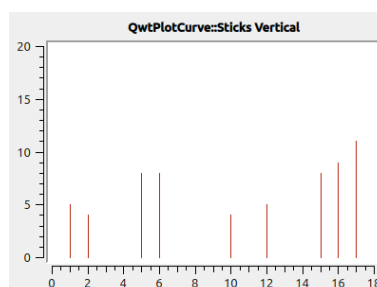


Abbildung 19. Vertikale Stäbchen

Alternativ kann man die Stäbchen auch horizontal zeichnen. Dazu muss man zusätzlich die Ausrichtung mit `QwtPlotSeriesItem::setOrientation()` setzen:

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Lines);
curve->setOrientation(Qt::Horizontal);
```

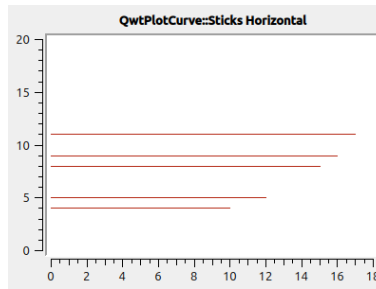


Abbildung 20. Horizontale Stäbchen

5.4. Stufendiagramme

Wenn die Daten nicht linear verbunden werden sollen, sondern eher Stufen darstellen, kann man den Linientyp **Steps** verwenden. Das Zusatz-Attribut `QwtPlotCurve::Inverted` gibt dabei an, ob die Stufe am Ende des Intervalls oder Anfang des Intervalls sein soll. Kurvenattribute werden mit `QwtPlotCurve::setCurveAttribute()` gesetzt:

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Steps);
curve->setCurveAttribute(QwtPlotCurve::Inverted, false);
```

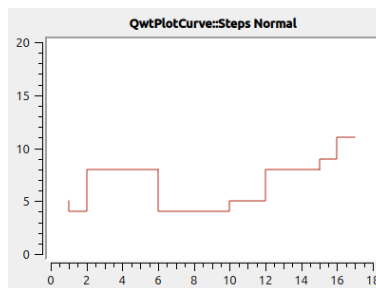


Abbildung 21. Stufendiagramm (normal)

Betrachtet man die Eingangsdaten:

```
x  y
1  5
2  4
5  8
...
```

so fällt auf, dass im ersten Intervall, also zwischen $x=1..2$, der Wert $y=4$ gezeichnet wird und an der Stelle $x=1$ die Verbindungslinie zwischen $y=5$ und $y=4$ gezeichnet wird.

Will man direkt den ersten y -Wert im ersten Intervall zeichnen (das wäre eher die natürliche Erwartungshaltung), so muss man das Attribut **Inverted** setzen:

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Steps);
curve->setCurveAttribute(QwtPlotCurve::Inverted, true);
```

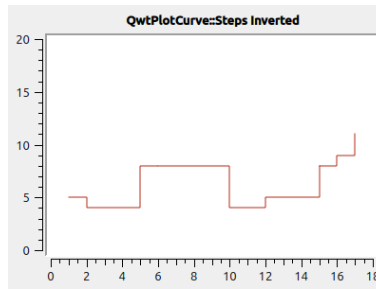


Abbildung 22. Stufendiagramm (invertiert)

5.5. Punkte (Dots)

Man kann an den jeweiligen x,y-Koordinaten auch einfach nur Punkte (auch nur einzelne Pixel) zeichnen. Das geht *sehr schnell* verglichen mit dem Zeichnen von Symbolen (siehe Kapitel 5.7) und kann für größere Punktwolken verwendet werden.



Bei der Verwendung von `QwtPlotCurve::Dots` sollte man bei heute üblichen Bildschirmauflösungen immer einen `QPen` mit größerer Breite einstellen, da mein *einzelne Pixel* sonst nur noch schwer sehen kann. Für die Visualisierung großer Punktwolken (> 100000 Pixel) kann die Verwendung von einzelnen Pixeln durchaus noch einen Mehrwert bieten. Für alle besonderen Formen (Kreuze, Rauten, Ringe, Sterne, ...) ist die Verwendung von Symbolen (siehe Kapitel 5.7) sinnvoll.

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Dots);
curve->setPen(QColor(180,40,20), 4); // width of 4 makes points better visible
```

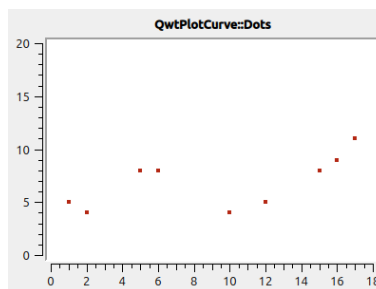


Abbildung 23. Punktediagramm



Bei der Visualisierung von Punktwolken kann es hilfreich sein, Transparenz/Alphablending zu benutzen. Dazu einfach bei der Zeichenfarbe noch einen Alphawert kleiner als 255 setzen.

```
QwtPlotCurve *curve = new QwtPlotCurve();
curve->setStyle(QwtPlotCurve::Dots);
curve->setPen(QColor(0,40,180,32), 2); // 2 pixels wide, alpha value 32
```

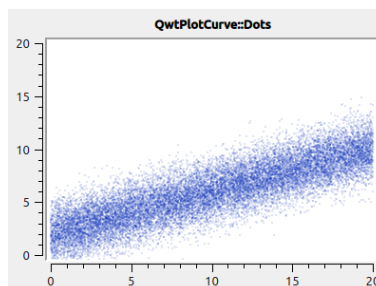


Abbildung 24. Punktwolke mit halbtransparenten Punkten



Wenn man ein Liniendiagramm mit Visualisierung von Stützstellen erhalten will, so kann man natürlich zwei Linien ins Diagramm einfügen: eine mit Stil `QwtPlotCurve::Lines` und die zweite mit Stil `QwtPlotCurve::Dots` darüber, d.h. mit höherem z-Wert, zeichnen. Dann muss man aber auch zwei mal die Daten ins Diagramm geben und man erhält auch zwei Legendeneinträge (die kann man zwar abschalten, siehe Kapitel 7, aber trotzdem). Besser ist hier die Verwendung von nur einer Kurve und Symbolen an den Stützstellen (siehe Kapitel 5.7).

5.6. Keine Linie

Möchte man eine Kurve ausschließlich mit Symbolen zeichnen (siehe nachfolgendes Kapitel), so kann man das Zeichnen des Linienzugs auch komplett ausstellen:

```
curve->setStyle(QwtPlotCurve::NoCurve);
```

5.7. Symbole/Punkte

An den jeweiligen x,y-Koordinaten einer Kurve kann man auch Symbole zeichnen. Dafür bietet die Qwt-Bibliothek die Klasse `QwtSymbol` an.

Ein Symbol fügt man zu eine Kurve wie folgt hinzu:

```
// Symbol hinzufügen
QwtSymbol * symbol = new QwtSymbol(QwtSymbol::Ellipse);
symbol->setSize(8);
symbol->setPen(QColor(0,0,160), 2);
symbol->setBrush(QColor(120,170,255));
curve->setSymbol(symbol); // Curve takes ownership of symbol
```

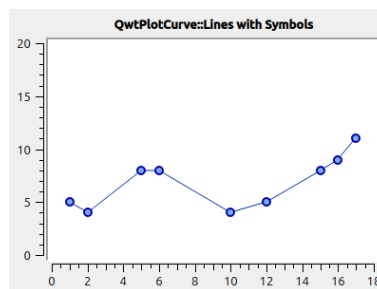


Abbildung 25. Liniendiagramm mit ausgefüllten Kreissymbolen

Zuerst wird das zu verwendende Symbol auf dem Heap mit `new` erzeugt. Der Konstruktor übernimmt den Typ des Symbols (siehe auch Galerie unten). Man kann das aber auch später über `QwtSymbol::setStyle()` setzen.

Wichtig ist auch die Größe des Symbols, gesetzt mittels `QwtSymbol::setSize()` in Pixeln. Diese Größe skaliert das Symbol je nach Form.

Außerdem wichtig sind die Eigenschaften Pen und Brush (`QwtSymbol::setPen()` und `QwtSymbol::setBrush()`). Der Pen wird für das Zeichnen des Umrisses verwendet und der Brush, so gesetzt, für das Ausfüllen der Form. Manche Symbole wie das Kreuz sind nicht ausgefüllt, daher hat hier der Brush keine Wirkung.

Schließlich wird das Symbol der Kurve mit `QwtPlotCurve::setSymbol()` gegeben.



Beim Aufruf von `QwtPlotCurve::setSymbol()` übernimmt die Plot-Kurve die Verantwortung für's Speicheraufräumen.

Die Symbolklasse ist ziemlich mächtig und kann verschiedenste Symbole zeichnen:

- vorgefertigte Formen wie Kreise, Rechtecke, Kreuze, etc. (Stil `QwtSymbol::Ellipse...QwtSymbol::Hexagon`)

- nutzerdefinierte Bilder/Pixmaps (Stil `QwtSymbol::Pixmap`)
- spezifische Grafiken gekapselt in Klasse `QwtGraphic` und erzeugt durch eine Anzahl von `QwtPainterCommand` Anweisungen (Stil `QwtSymbol::Graphic`) (siehe auch [sec:qwtGraphic])
- SVG-Dokumente (Stil `QwtSymbol::SvgDocument`)
- nutzerdefinierte Formen, welche durch einen `QPainterPath` definiert sind (Stil `QwtSymbol::Path`)

5.7.1. Symbolstile/Eingebauten Symbolformen

Es gibt zahlreiche eingebaute Symbolformen (fett gedruckt im Diagrammtitel ist jeweils der `QwtSymbol::Style` Enumerationsname):

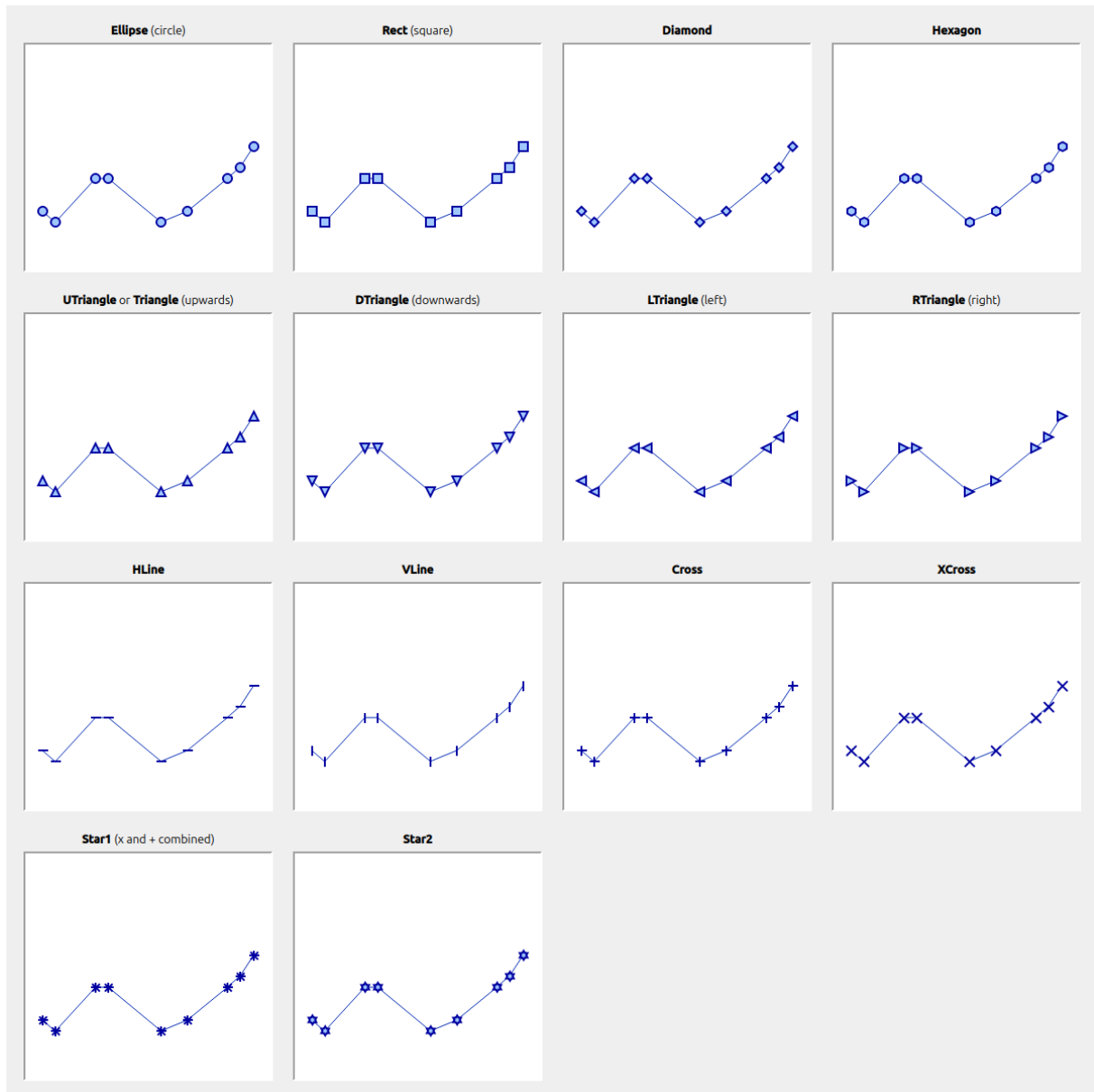


Abbildung 26. Eingebaute Symboltypen/Stile und deren Enumerationstypen

5.7.2. Nutzerdefinierte Formen via QPainterPath

Man kann beliebige eigene Symbolformen setzen, indem man die Klasse `QPainterPath` verwendet. Folgendes Beispiel generiert ein Glühlampensymbol:

```
// Symbol hinzufügen
```

```
QwtSymbol * symbol = new QwtSymbol(QwtSymbol::Path);
QPainterPath p;
p.addEllipse(QRectF(-10,-10,20,20));
p.moveTo(-7,-7);
p.lineTo(7,7);
p.moveTo(7,-7);
p.lineTo(-7,7);
symbol->setPath(p);
symbol->setPen(QColor(0,0,120), 2);
symbol->setBrush(QColor(160,200,255));
curve->setSymbol(symbol); // Curve takes ownership of symbol
```

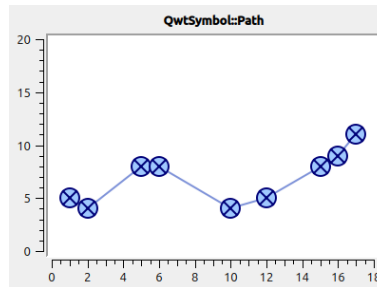


Abbildung 27. Eigenes Symbol definiert mittels QPainterPath



Wenn man eine nicht-rechteckige Geometrie mit QPainterPath definiert, sollte man beim Ändern der Größe mittels `QwtSymbol::setSize()` die Variante mit den zwei Argumenten aufrufen, also `QwtSymbol::setSize(width,height)`. Die Variante mit nur einem Argument transformiert den Pfad onst auf ein Quadrat. Da man üblicherweise keine nicht-quadratischen Formen als Symbol definiert, dürfte das aber nur selten ein Problem sein.

5.7.3. SVG-Symbole

Man kann eigene SVG-Dateien rendern und anzeigen lassen. Dafür muss man nur eine SVG-Datei einlesen/definieren und als Symbol setzen:

```
QwtSymbol * symbol = new QwtSymbol(QwtSymbol::SvgDocument);
QFile f("symbol.svg");
f.open(QFile::ReadOnly);
QTextStream strm(&f);
QByteArray svgDoc = strm.readAll().toLatin1();
symbol->setSvgDocument(svgDoc);
curve->setSymbol(symbol); // Curve takes ownership of symbol
```



Auch hier ist beim Festlegen der Größe wieder auf das Seitenverhältnis zu achten und zumeist die Variante `QwtSymbol::setSize(width,height)` zu verwenden.

Manchmal liegt der Ankerpunkt des SVG-Bildes nicht im Zentrum, wie in obigem Beispiel:

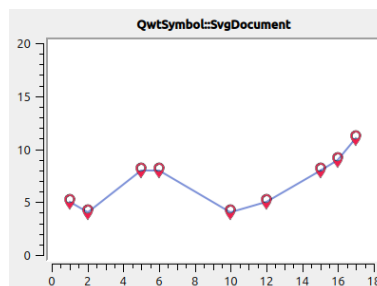


Abbildung 28. Zentriertes SVG-Symbol, welches eigentlich aber nach oben verschoben sein sollte

Man kann den Ankerpunkt bzw. den Zentrierpunkt des Symbols aber mit `QwtSymbol::setPinPoint()` ändern. Die Koordinaten des PinPoint werden dabei von links/oben des SVG-Bildes gemessen:

```
...
QRect br = symbol->boundingRect(); // size of symbol
symbol->setPinPoint(QPointF(br.width()/2-1,br.height()-3));
```

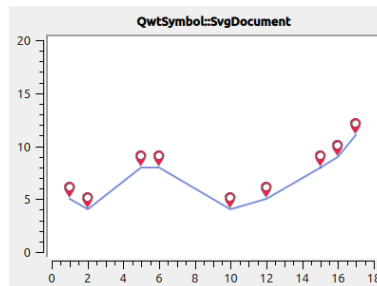


Abbildung 29. SVG-Symbol mit korrekter Ausrichtung des "Stecknadel"-Punktes



Man kann die manuell gesetzten Ankerpunkt auch wieder mit `QwtSymbol::setPinPointEnabled(false)` deaktivieren.

5.7.4. Bild-Symbole (Pixmap)

Alternativ zu eigenen Vektorgrafiksymbolen kann man auch beliebige Bilder als Symbole verwenden. Dies geschieht analog zu den SVG-Symbolen:

```
QwtSymbol * symbol = new QwtSymbol(QwtSymbol::Pixmap);
QwtText t("QwtSymbol::Pixmap");
QPixmap pixmap;
pixmap.load("symbol.png");
symbol->setPixmap(pixmap);
QRect br = symbol->boundingRect(); // size of symbol
symbol->setPinPoint(QPointF(br.width()/2,br.height()-1));
curve->setSymbol(symbol); // Curve takes ownership of symbol
```

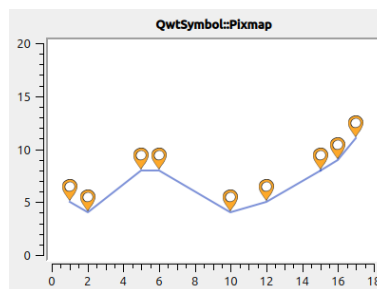


Abbildung 30. Pixmap-Symbol, auch mit manuell festgelegtem "Stecknadel"-Punkt

5.8. Intervallkurven

Eine spezielle Kurvenart ist die *Intervallkurve*, bereitgestellt über die Klasse `QwtPlotIntervalCurve`.

Im Prinzip ist das eine Kurve mit zwei y-Werten pro x-Koordinate im Datensatz. Es werden zwei reguläre Kurven gezeichnet und dazwischen wird die Fläche ausgefüllt. Dies kann man auch gut dazu nutzen, um gestackte Liniendiagramme zu zeichnen.

```

QVector<double> x{1,2,5,6,10,12,15,16,17};
QVector<double> y1{2,2,3,4, 2, 4, 4, 5,11};
QVector<double> y2{6,4,4,9,10, 5.5, 5.7, 9, 11,12};

QVector<QwtIntervalSample> intervalSamples;
for (int i=0; i<x.count(); ++i)
    intervalSamples.append(QwtIntervalSample(x[i],y1[i],y2[i]));

QwtPlotIntervalCurve *curve = new QwtPlotIntervalCurve();
curve->setStyle(QwtPlotIntervalCurve::Tube);
curve->setPen(QColor(0,40,180), 2);
curve->setBrush( QColor(60,200,255) );
curve->setRenderHint( QwtPlotItem::RenderAntialiased, true ); // Antialiasing verwenden
curve->setSamples(intervalSamples);
curve->attach(&plot); // Plot takes ownership

```

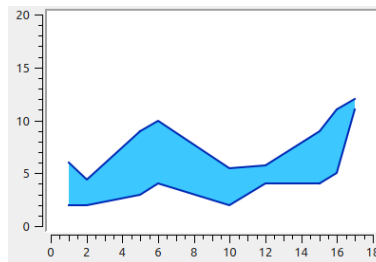


Abbildung 31. Intervallkurve

Die Funktion `setSamples()` gibt es in zwei Varianten:

- `QwtPlotIntervalCurve::setSamples(const QVector< QwtIntervalSample > &)` : erwartet einen Vektor mit Interval-Samples, bestehend aus x-Koordinate, unterem und oberem y-Wert
- `QwtPlotIntervalCurve::setSamples(QwtSeriesData< QwtIntervalSample > *)` : erwartet ein `QwtSeriesData` Objekt (siehe Kapitel 4.2) welches Eigentum der Intervallkurve wird. Diese Funktion entspricht der Funktion `setData()` der Elternklasse `QwtSeriesStore`.

Man kann das Erscheinungsbild noch etwas aufwerten, wenn man für die Füllung der Kurve einen Gradienten verwendet. Dafür gibt man der Kurve einfach einen `QBrush`, der mit einem Gradienten erstellt wurde.

```

...
QLinearGradient grad(0,90,0,220);
grad.setColorAt(0, QColor(60,200,255));
grad.setColorAt(1, QColor(0,60,120));
curve->setBrush( QBrush(grad));
...

```

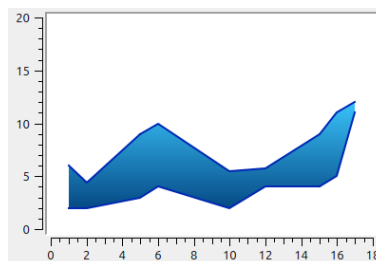


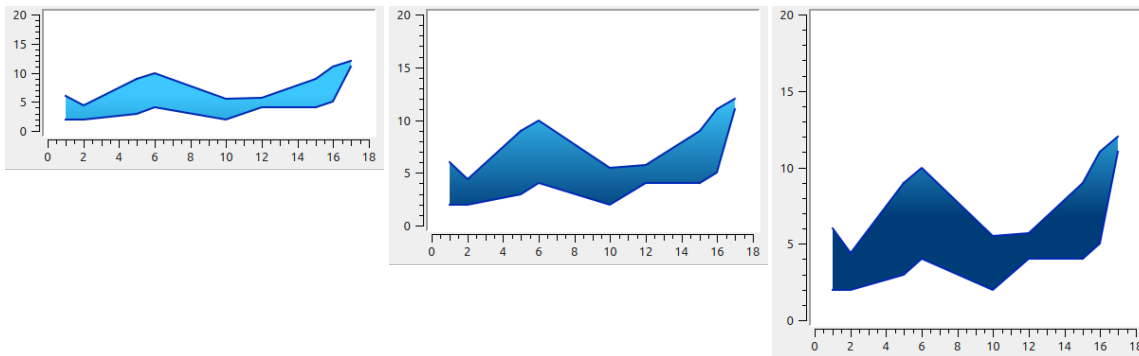
Abbildung 32. Intervallkurve mit Gradientenfüllung



Die Colorstops der Gradienten in Qt werden in Pixelkoordinaten angegeben. Wenn man also das Plot-Fenster

vergrößert/verkleinert, dann führt das zu witzigen Effekten. Die Lösung ist, das QwtPlot in einer eigenen Klasse abzuleiten und im Resize-Event den Gradienten entsprechend anzupassen. Gleiches gilt auch für das interaktive Verschieben/Zoomen im Plotfenster, also immer wenn sich die Pixelkoordinaten der gefüllten Fläche ändern. Insgesamt einfacher ist es, die Klasse `QwtPlotIntervalCurve` abzuleiten und die Zeichenfunktion selbst zu implementieren, siehe auch Beispiel in [sec:advancedCurves].

Intervallkurve mit festem Gradienten bei Änderung der Plotgeometrie



5.9. Gestapelte (Intervall-)Kurven/Flächendiagramme

Man kann die Intervallkurven auch nutzen, um gestapelte, ausgefüllte Kurven bzw. Flächendiagramme zu erstellen. Dazu erstellt man einfach mehrere `QwtPlotIntervalCurve` Zeichenelemente, die sich jeweils die gleichen Y-Werte teilen.

```

 QVector<double> x{1,2,5,6,10,12,15,16,17};
 QVector<QVector<double> > y;
 // 3 curves, 4 lines
 y.append( QVector<double>{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0} );
 y.append( QVector<double>{2, 2, 3, 4, 2, 4, 4, 5, 11} );
 y.append( QVector<double>{6,4.4, 9, 8,5.5,5.7, 9, 11, 12} );
 y.append( QVector<double>{7,6.6,12,10, 9, 11,12, 12, 13} );

 const QColor cols[] = { QColor(96,60,20),
                        QColor(156,39,6),
                        QColor(212,91,18),
                        QColor(242,188,43)
                      };

 for (int j=0;j<y.count()-1; ++j) {
   QwtPlotIntervalCurve *curve = new QwtPlotIntervalCurve();
   // generate intervals for current curve
   QVector<QwtIntervalSample> intervalSamples;
   for (int i=0; i<x.count(); ++i)
     intervalSamples.append(QwtIntervalSample(x[i],y[j][i],y[j+1][i]));
   curve->setStyle(QwtPlotIntervalCurve::Tube);
   curve->setPen(QColor(96,60,20), 1);
   curve->setBrush(cols[j+1]);
   curve->setRenderHint( QwtPlotItem::RenderAntialiased, true ); // Antialiasing verwenden
   curve->setSamples(intervalSamples);
   curve->attach(&plot); // Plot takes ownership
 }

```

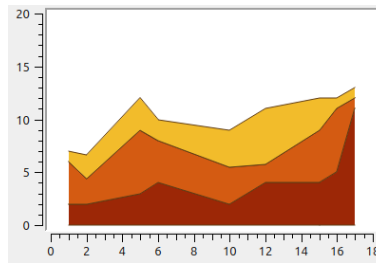


Abbildung 33. Diagramm mit gestapelten Kurven/Flächendiagramm

6. Balkendiagramme

Balkendiagramme sind mit **QwtPlot** ebenfalls einfach möglich. Dabei gibt es verschiedene Varianten, je nach Datenlage:

- ein Balken pro Intervall, nebeneinander oder gestapelt
- mehrere Balken pro Intervall, nebeneinander oder gestapelt
- mehrere Balken pro Intervall, nebeneinander und gestapelt (das geht z.B. mit Excel nicht!)

Als Zeichenelement/Diagrammtyp werden entweder **QwtPlotBarChart** oder **QwtPlotMultiBarChart** verwendet. Beide Klassen implementieren die Schnittstelle der abstrakten Basisklasse **QwtPlotAbstractBarChart**.

6.1. Grundlegende Eigenschaften der Plots

Für einfache Balkendiagramme verwendet man die Klasse **QwtPlotBarChart**. Wie auch schon bei **QwtPlotCurve** wird das Balkendiagramm-Zeichenelement auf dem Heap erstellt und dem Diagramm mit **attach()** übergeben.

```
QwtPlotBarChart * curve = new QwtPlotBarChart();
QVector<double> y{10,20,15,14,18,12};
curve->setSamples(y);
curve->attach(&plot); // Plot takes ownership
```

Ohne weitere Anpassung sieht das Diagramm noch recht langweilig aus.

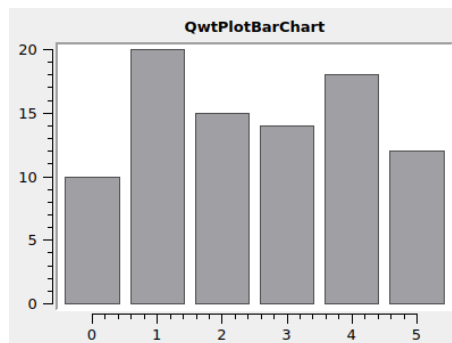


Abbildung 34. Minimalistisches Balkendiagramm



Die Funktion **QwtPlotBarChart::setSamples()** generiert aus dem Vektor der y-Werte automatisch einen Vektor mit x,y-Wertepaaren, wobei die x-Werte von 0 beginnend durchnummeriert werden. Die Balken entsprechen intern einer normalen Plotkurve mit equidistanten Stützstellen auf der x-Achse.

6.2. Bezugslinie

Standardmäßig beginnen die Balken bei 0. Mitunter will man aber relative Unterschiede bezogen auf eine Grundlinie einstellen. Dazu verwendet man **setBaseLine(yPlotCoordinate)**.

```
QVector<double> y{10,20,15,14,18,12};
curve->setSamples(y);
curve->setBaseLine(15);
```

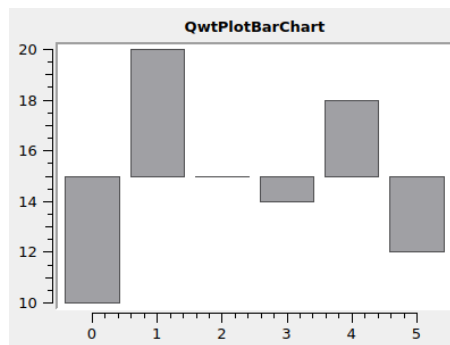


Abbildung 35. Balkendiagramm mit Bezugslinie bei y=15

6.3. Layout und Abstände

Das Erscheinungsbild des Diagramms lässt sich vielfältig anpassen. Wenn man das Diagramm vergrößert und verkleinert, werden dabei die Achsen skaliert und passend dazu auch die Balken.

In der Standardeinstellung werden die Balken mit minimalem Abstand zueinander und vom Rand gezeichnet. Den Randabstand kann man mit `setMargin(pixels)` ändern und den Abstand zwischen den einzelnen Balken definiert man mit `setSpacing(pixels)`.

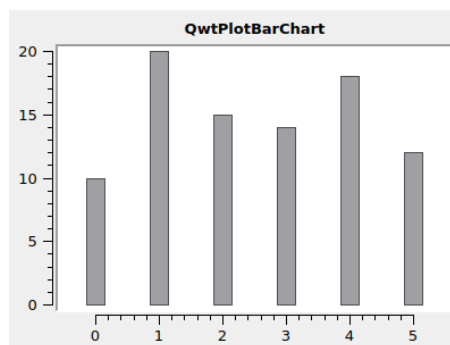


Abbildung 36. Balkendiagramm mit angepassten Abständen und Rändern

Die Breite der Balken selbst wird über Layoutvorgaben und konkret über die Funktionen `QwtPlotAbstractBarChart::setLayoutPolicy()` und `QwtPlotAbstractBarChart::setLayoutHint()` kontrolliert.

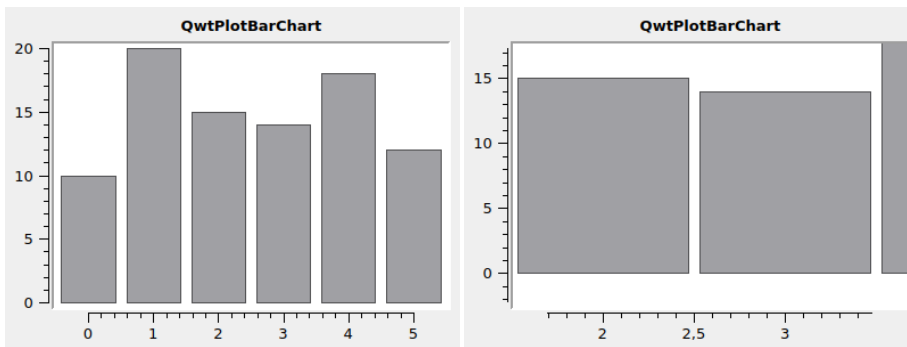
6.3.1. AutoAdjustSamples

In diesem Modus, gesetzt durch

```
curve->setLayoutPolicy(QwtPlotAbstractBarChart::AutoAdjustSamples);
```

wird die Größe der Balken basierend auf der Größe der Zeichenfläche und der gesetzten Rand- und Zwischenabstände bestimmt.

Balkendiagramm im Layoutmodus AutoAdjustSamples, normal (links) und hineingezoomt (rechts)



Die Balken, die Zwischenräume (spacing) und Randabstände (margin) füllen die Zeichenfläche komplett aus. Wie man am rechten Diagramm sieht, bleibt das auch beim Hineinzoomen ins Diagramm so.

Der zusätzliche Parameter `setLayoutHint()` definiert die Anzahl der Pixel, die ein Balken mindestens breit sein sollte. Damit kann man verhindern, dass beim Verkleinern der Plotgröße die Balken irgendwann komplett verschwinden. Folgendes Beispiel zeigt, was bei einem größeren `LayoutHint` im Modus `AutoAdjustSamples` passiert:

```
curve->setLayoutPolicy(QwtPlotAbstractBarChart::AutoAdjustSamples);
curve->setLayoutHint(100); // minimum width of bars is 100 pixels
```

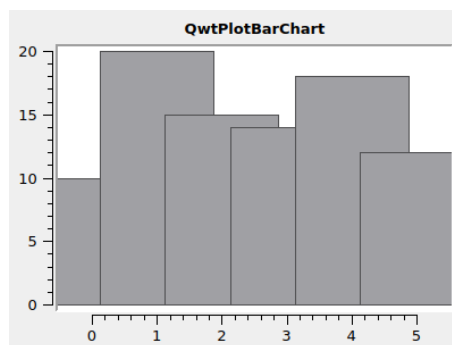


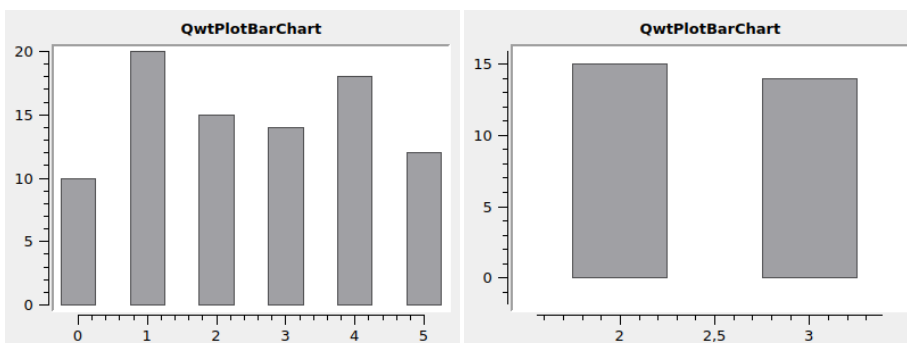
Abbildung 37. Durch `LayoutHint` definierte Mindestbalkenbreite

6.3.2. ScaleSamplesToAxes

In diesem Layoutmodus wird die Balkenbreite basierend auf der aktuellen x-Achsenkalierung festgelegt. Wenn man in diesem Layoutmodus den `LayoutHint` auf 0.5 setzt, dann wird ein Balken genau halb so breit wie ein Achsentick gezeichnet und dann mittig am Achsentick ausgerichtet. Es wird also die X-Achse benutzt, um die 0.5 in Plotkoordinaten in Pixelbreiten der Zeichenfläche umzurechnen.

```
curve->setLayoutPolicy(QwtPlotAbstractBarChart::ScaleSamplesToAxes);
curve->setLayoutHint(0.5); // 0.5 axis scale as bar width
```

Balkendiagramm im Layoutmodus `ScaleSamplesToAxes`, normal (links) und hineingezoomt (rechts)



Auch beim Hereinzoomen orientiert sich die Balkenbreite stets an der X-Achsenkalierung.



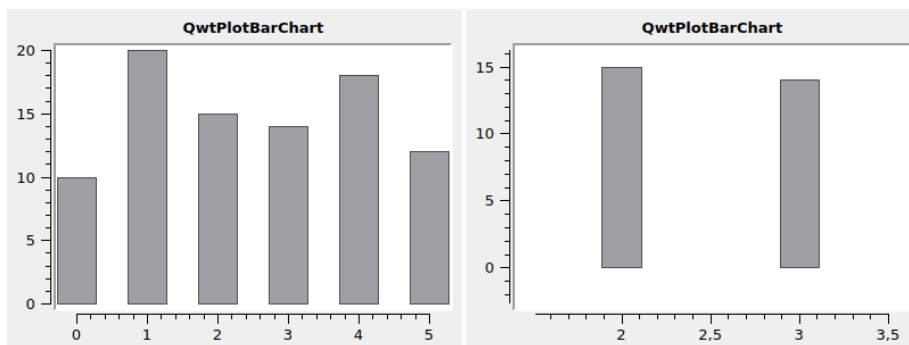
Der Balkenabstand wird hier ausschließlich über den `LayoutHint` definiert und der Balkenabstand, den man mittels `setSpacing()` setzt, wird in diesem Layoutmodus nicht berücksichtigt. Wenn man also eine Balkenbreite 1 (in x-Achsenkaleneinheiten) setzt, dann werden die Balken dicht-an-dicht gezeichnet, unabhängig vom `spacing`. Der Randabstand `margin` wird hingegen wie bisher angewendet.

6.3.3. ScaleSampleToCanvas

In diesem Modus werden die Balkenbreiten in Abhängigkeit (als Prozentsatz) zur Zeichenflächengröße bestimmt. Man sollte sich zur Festlegung des `LayoutHint`-Parameters überlegen, wie viele Balken denn maximal im Diagramm sichtbar sein werden.

```
curve->setLayoutPolicy(QwtPlotAbstractBarChart::ScaleSampleToCanvas);  
curve->setLayoutHint(0.1); // bar width 10% of canvas width
```

Balkendiagramm im Layoutmodus `ScaleSampleToCanvas`, mit 10% Zeichenflächebreite als Balkenbreite



Beim Hereinzoomen bleibt die Balkenbreite konstant und ändert sich nur bei Größenänderung des Plots.

6.3.4. Layout-Empfehlung

Abgesehen von speziellen Anforderungen ist für die meisten Fälle die LayoutPolicy `QwtPlotAbstractBarChart::ScaleSamplesToAxes` empfehlenswert. Sowohl beim Größenändern des Plots als auch beim Zoomen verhält sich das Plot so, wie man es erwartet.

```
curve->setLayoutPolicy(QwtPlotAbstractBarChart::ScaleSamplesToAxes);  
curve->setLayoutHint(0.8); // 0.8 axis scale as bar width  
curve->setMargin(10); // 10 pixel margin
```

Möchte man wirklich immer die gleichen Abstände zwischen den Balken haben, egal wie groß das Plot ist oder wie weit man hineinzoomt, dann ist die LayoutPolicy `QwtPlotAbstractBarChart::AutoAdjustSamples` zu empfehlen.

6.4. Balkenformen und Farben

Die Balken selbst werden durch die Klasse `QwtColumnSymbol` gezeichnet. Diese kann verschiedenartig konfiguriert werden. Standardmäßig wird der Symboltyp `QwtColumnSymbol::Box` verwendet, wie in nachfolgendem Beispiel:

```
QwtColumnSymbol* symbol = new QwtColumnSymbol( QwtColumnSymbol::Box );  
symbol->setLineWidth( 2 );  
symbol->setFrameStyle( QwtColumnSymbol::Raised );  
symbol->setPalette( QPalette( QColor(0xff0040) ) );  
curve->setSymbol( symbol );
```

Angepasst werden können die Form des Rechteckrahmens (`Raised`, `Plain`, `NoFrame`), die Füllfarbe und Linienfarbe.

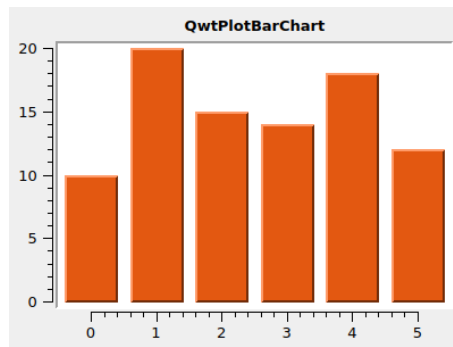


Abbildung 38. Balkendiagramm mit angepasstem Stil für die Balken



Wenn man ein **QPalette** Objekt mit einer einzelnen Farbe im Konstruktor erstellt, dann werden die Farben für die einzelnen Palettenrollen automatisch berechnet. **QwtColumnSymbol** verwendet die Rollen **QPalette::Window**, **QPalette::Dark** und **QPalette::Light** für die individuelle Elemente. Beim Stil **plain** wird der Rahmen mit der Palettenrolle **Dark** gezeichnet.

Durch Anpassung individueller Palettenrollen kann man das Zeichnen der Balken anpassen.

```
QwtColumnSymbol* symbol = new QwtColumnSymbol( QwtColumnSymbol::Box );
symbol->setFrameStyle(QwtColumnSymbol::Plain);
symbol->setLineWidth(1);
QPalette palette(QColor(0xc1e311));
palette.setBrush(QPalette::Dark, Qt::black); // black frame
symbol->setPalette(palette);
curve->setSymbol( symbol );
```

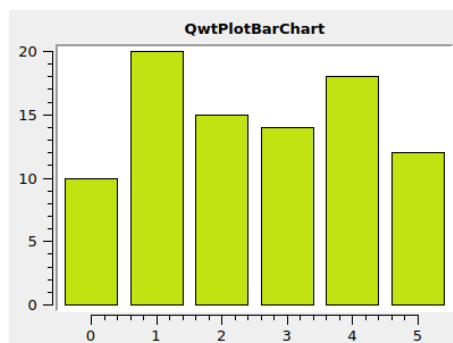


Abbildung 39. Balkendiagramm mit schwarz umrandeten, einfarbigen Balken

6.5. Balkenbeschriftung auf der X-Achse

Die in den bisherigen Beispieldiagrammen gezeigte X-Achse ist etwas ungewöhnlich für Balkendiagramme. Ohne jetzt auf Kapitel 9 vorgreifen zu wollen, soll hier doch die für Balkendiagramme typische Anpassung der x-Achse gezeigt werden.

Zunächst wird die Achsenzeichenfunktionalität angepasst, wofür man sich zunächst Zugriff auf die aktuelle Zeichenklassen **QwtScaleDraw** (Header **QwtScaleDraw** bzw. **qwt_scale_draw.h**) mit **QwtPlot::axisScaleDraw()** holt. Dann schaltet man die Unterteilungsstriche (*Ticks*) und die Achsenlinie (*Backbone*) ab.

Um die unterschiedlichen Randeinstellungen des Plots besser zu verstehen, werden Balken mit **ScaleSamplesToAxes** und **LayoutHint 1** (komplette Breite) gewählt, die Balkendiagrammränder (*margins*) auf 20 und der Zeichenflächenrand (umlaufend) auf 10 Pixel gesetzt.

Schließlich stellen wir noch sicher, dass das Plotlayout die y-Achse nicht direkt über dem x=0 Wert an den linken Rand der Zeichenfläche legt. Dies macht man durch Anpassung des **QwtPlotLayout** (Header **QwtPlotLayout** bzw. **qwt_plot_layout.h**). **QwtPlotLayout::setAlignCanvasToScale()** legt fest, ob die gewählte Achse direkt am Rand der Zeichenfläche liegt und damit die jeweils zugeordnete Achse (hier die x-Achse) eben mit dem 0-Wert direkt am linken Rand der Zeichenfläche liegt.

```

QwtScaleDraw* scaleDraw1 = plot.axisScaleDraw( QwtPlot::xBottom );
scaleDraw1->enableComponent( QwtScaleDraw::Backbone, false );
scaleDraw1->enableComponent( QwtScaleDraw::Ticks, false );

curve->setMargin(20); // margin left/right of bars
plot.plotLayout()->setCanvasMargin( 10 ); // canvas margin all around

// do not fix y-axis at 0 and left edge of canvas
plot.plotLayout()->setAlignCanvasToScale( QwtPlot::yLeft, false );
plot.updateCanvasMargins();

```

Zum Vergleich nochmal das gleiche Diagramm *ohne* Ränder und mit `setAlignCanvasToScale(yLeft, true)`.

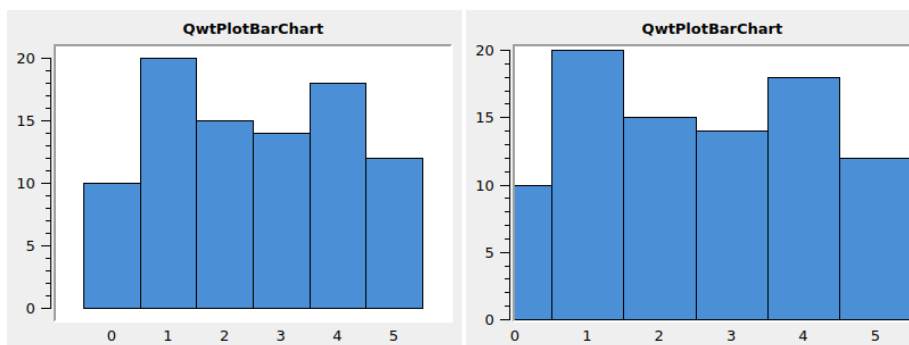
```

QwtScaleDraw* scaleDraw1 = plot.axisScaleDraw( QwtPlot::xBottom );
scaleDraw1->enableComponent( QwtScaleDraw::Backbone, false );
scaleDraw1->enableComponent( QwtScaleDraw::Ticks, false );

curve->setMargin(0);
plot.plotLayout()->setCanvasMargin(0);
plot.plotLayout()->setAlignCanvasToScale( QwtPlot::yLeft, true );
plot.updateCanvasMargins();

```

Balkendiagramm mit typischer X-Achsenbeschriftung, mit Rändern (links), ohne Ränder und y-Achse schneidet x-Achse bei $x=0$ direkt am linken Rand



6.6. Balkenbeschriftungen

Möchte man statt der Zahlen am unteren Bildschirmrand Beschriftungen für die einzelnen Balken haben, musst man die Klasse `QwtScaleDraw` ableiten und dann die virtuelle Funktionen `QwtScaleDraw::label()` überladen.

```

class ScaleDraw : public QwtScaleDraw {
public:
    ScaleDraw(const QStringList& labels) : m_labels( labels ) {
        setTickLength( QwtScaleDiv::MinorTick, 0 );
        setTickLength( QwtScaleDiv::MediumTick, 0 );
        setTickLength( QwtScaleDiv::MajorTick, 2 );
        enableComponent( QwtScaleDraw::Backbone, false );
        setLabelAlignment( Qt::AlignHCenter | Qt::AlignVCenter );
    }

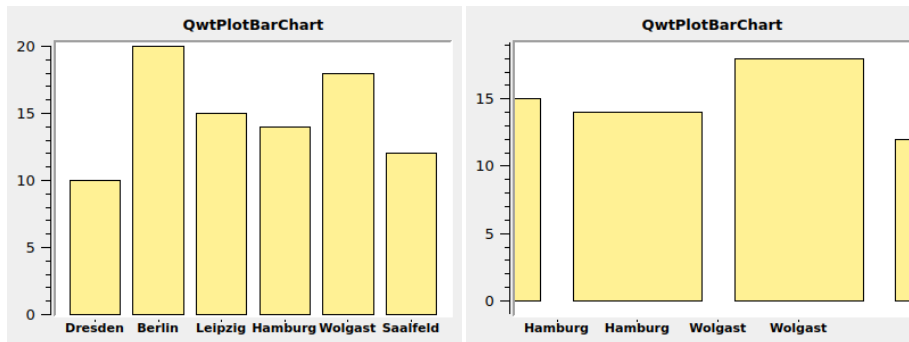
    virtual QwtText label( double value ) const QWT_OVERRIDE {
        const int index = qRound( value );
        if ( index >= 0 && index < m_labels.size() )
            return m_labels[index];
        return QwtText();
    }
}

```

```
QStringList m_labels;
};
```

Diese Klassenimplementierung konfiguriert die Darstellung der Unterteilungsstriche und Skalenlinie wie bisher, sorgt für korrekte Ausrichtung der Labels und merkt sich die im Konstruktor übergebenen Texte als indizierte Liste. Entscheidend ist die Implementierung der Funktion `QwtScaleDraw::label()`. Diese Funktion hat die Aufgabe, passend zu den übergebenen Zahlenwerten (hier Werte der x-Achse) entsprechende Beschriftungen anzuzeigen. Wie am Anfang dieses Kapitels erwähnt, wird jedem Balken eine fortlaufende Nummer zugeordnet. Wenn die Achse nun also eine Zahl zeichnen will, also z.B. die 4, dann wird in der Funktion der Wert gerundet und als Index benutzt, um den dazugehörigen Text zurückzuliefern.

Balkendiagramm mit Textbeschriftung der Balken, rechts hineingezoomt mit fehlerhafter Beschriftung der Balken



Das Problem mit dem Hineinzoomen lässt sich durch eine minimale Erweiterung des Codes lösen:

```
if ( index >= 0 && index < m_labels.size() && qAbs(index-value) < 1e-6 )
    return m_labels[index];
```

Trotzdem bleiben noch Achsenticks abseits von Balken stehen. Deshalb schaltet man die besser komplett aus und erhält dann ein ordentliches Diagramm, auch im gezoomten Zustand.

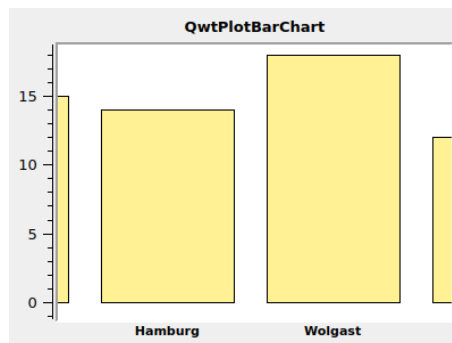


Abbildung 40. Hineingezoomt in ein Balkendiagramm mit Textbeschriftung

6.7. Mehrfarbige Balken, Legendeneinträge etc.

Alle weiterführenden Anpassungen des Balkendiagramms sind im [sec:advancedCurves] beschrieben.

6.8. Gestapelte Balkendiagramme oder Balkendiagramme mit mehreren Balken pro Gruppe

7. Legende

8. Markierungslinien

9. Plotachsen

Die Achsen/Skalen eines Plots (insgesamt 4, oben, unten, links und rechts) können bereits in den mitgelieferten Klassenimplementierungen vielfältig angepasst und verändert werden. Und natürlich können die beteiligten Klassen auch abgeleitet und so beliebig modifiziert/geändert werden.

Die wichtigsten Klassen in Bezug auf die Achsen sind:

- `QwtAxis`
- `QwtAbstractScaleDraw` und die Spezialisierungen `QwtScaleDraw` und `QwtDateScaleDraw`
- `QwtScaleEngine` und die Spezialisierungen `QwtLinearScaleEngine` und `QwtLogScaleEngine`

9.1. Allgemeine Achsenformatierung

9.2. Skalen

10. QwtText und Sonderformatierungen

10.1. MathML

11. Interaktiver Zoom und Verschieben von Diagrammausschnitten

12. Anpassung/Styling der Qwt Komponenten

12.1. Allgemeines zu Farbpaletten

Die Qwt-Komponenten verwenden die Qt Palette und deren Farbrollen für die Einfärbung.

12.2. Rahmen und Zeichenfläche des Diagramms

Beim `QwtPlot` können verschiedene Elemente angepasst werden. Nachfolgend ist ein `QwtPlot` zu sehen, welches in einem äußeren Widget (dunkelgrau) eingebettet ist. Die hellgraue Fläche ist das eigentliche `QwtPlot`:

![[Rahmen und Zeichenfläche]](imgs/plotStylingOverview.png)

Im Screenshot sind die wichtigsten Attribute markiert:

1. Innenabstand (siehe `QWidget::setContentsMargins()`)
2. Rahmen (hauptsächlich für den Druck wichtig)
3. Hintergrund des Plot-Widgets
4. Zeichenfläche (engl. *Canvas*) (betrifft Hintergrundfarbe und Rahmen)

12.2.1. Farbe und Rahmen des Plots

Die Farbe des äußeren Bereichs des Plots wird über die Paletteneigenschaft des `QwtPlot` kontrolliert. Standardmäßig wird der äußere Rand des Plot-Widgets transparent gezeichnet, d.h. die Farbe des darunterliegenden Widgets ist sichtbar. Um eine eigene Farbe zu setzen, muss daher `setAutoFillBackground(true)` aufgerufen werden:

```
QPalette pal = plot.palette();
// Die QPalette::Window Farbrolle definiert die Einfärbung
// des äußeren Plotbereichs
pal.setColor(QPalette::Window, QColor(196,196,220));
plot->setPalette(pal);
```

```
// die Eigenschaft "autoFillBackground" muss dafür eingeschaltet sein
plot->setAutoFillBackground(true);
```


Hinweis: In Abschnitt [Gradient als Plot-Hintergrund](customization/#gradient-als-plot-hintergrund) wird beschrieben, wie man einen Farbverlauf im Plothintergrund umsetzt, und diesen bei Größenänderung entsprechend anpasst.

Der Rahmen wird wie bei einem normalen Widget angepasst:

```
plot->setFrameStyle(QFrame::Box | QFrame::Sunken);
```

Normalerweise ist ein solcher Rahmen nicht notwendig für die Bildschirmdarstellung oder für das Einbetten des QwtPlot in eine Programmoberfläche. Der Rahmen ist jedoch häufig beim [Export/Druck](export) des Widgets sinnvoll.

12.2.2. Zeichenfläche

Die Zeichenfläche kann eingefärbt werden:

```
plot->setCanvasBackground(Qt::darkGray);
```


Der Randabstand zwischen Achsenbeschriftung und Titel zum Rand kann definiert werden:

```
plot->setContentsMargins(15,10,35,5);
```


Die Rahmen um die Zeichenfläche kann durch Anpassen des Zeichenflächenobjekts (**QwtPlotCanvas**) verändert werden. **QwtPlotCanvas** ist von **QFrame** abgeleitet, wodurch es entsprechend angepasst werden kann. Es wird einfach neues Objekt erstellt, konfiguriert und dem Plot übergeben (das QwtPlot wird neuer Besitzer des Zeichenflächenobjekts):

```
QwtPlotCanvas * canvas = new QwtPlotCanvas(&plot);
canvas->setPalette(Qt::white);
canvas->setFrameStyle(QFrame::Box | QFrame::Plain );
canvas->setLineWidth(1);
plot->setCanvas(canvas);
```


Einfacher geht es durch Setzen des Stylesheets für das Canvas-Widget (siehe Qt-Widgets Dokumentation, welche Attribute unterstützt werden):

```
plot->canvas()->setStyleSheet(
    "border: 1px solid Black;"
    "border-radius: 15px;"
    "background-color: qlineargradient( x1: 0, y1: 0, x2: 0, y2: 1,"
    "    stop: 0 LemonChiffon, stop: 1 PaleGoldenrod );"
);
```

13. Exportieren und Drucken

Neben der Anzeige auf dem Bildschirm ist das Speichern schicker Diagramme und Verwendung dieser in Berichten eine nicht unwichtige Aufgabe. Allerdings ist es nicht trivial, gute Diagramme mit sinnvollen Schriftgrößen zu exportieren. Grundsätzlich muss hier zwischen Pixelgrafik-Export und Vektorgrafik unterschieden werden.

13.1. Exportieren des Plots als Pixelgrafik

Der naheliegende Export des Plots ist eine 1-zu-1 Kopie in die Zwischenablage oder in eine Bitmapdatei (jpg, gif, png,...).

13.1.1. Erstellen einer 1-zu-1 Kopie des Plotwidgets

Jedes QWidget kann direkt in eine QPixmap gezeichnet werden. Und dieses kann dann in eine Datei gespeichert werden.

```
// Plot in QPixmap rendern
QPixmap p = plot.grab();
// QPixmap in Datei speichern
p.save("diagramm_screenshot.png");
```

13.1.2. Kopie in die Zwischenablage

Statt das QPixmap in eine Datei zu speichern, kann man das auch einfach in die Zwischenablage kopieren. Dazu `QClipboard` und `QApplication` einbinden und:

```
// Plot in QPixmap rendern
QPixmap p = plot.grab();
// QPixmap in Zwischenablage kopieren
qApp->clipboard()->setImage(p.toImage());
```

13.1.3. QwtPlot mit anderer Auflösung abspeichern

Wenn das QwtPlot mit einer anderen Auflösung/Pixelgröße als angezeigt auf dem Bildschirm abgespeichert werden soll, so verwendet man die `QwtPlotRenderer`:

```
// Render-Objekt erstellen
QwtPlotRenderer renderer;
// Statt der versenkten Box wird ein Rahmen mit Skalenstrichen gezeichnet
renderer.setLayoutFlag(QwtPlotRenderer::FrameWithScales);
// Zielgröße festlegen
QRect imageRect( 0.0, 0.0, 1200, 600 );
// Bildobjekt in der entsprechenden Größe erstellen...
QImage image( imageRect.size(), QImage::Format_ARGB32 );
// und mit weißem Hintergrund füllen
image.fill(Qt::white);

// Das Diagramm in das QImage zeichnen
QPainter painter( &image );
renderer.render( &plot, &painter, imageRect );
painter.end();

// QImage zurück in QPixmap konvertieren
QPixmap plotPixmap( QPixmap::fromImage(image) );
plotPixmap.save("diagram.png");
```


Das Diagramm aus dem Tutorial 1 (Kapitel 2) sieht dann z.B. so aus:

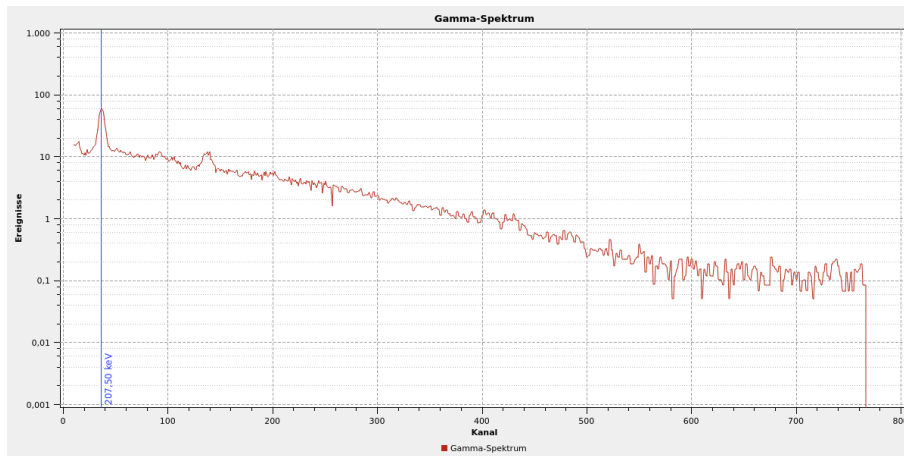


Abbildung 41. Plot in höherer Auflösung abgespeichert

13.1.4. Diagrammelemente skalieren (DPI ändern)

TODO

13.2. Exportieren des Plots als Vektorgrafik

TODO

13.3. Drucken

TODO

14. Fortgeschrittene Themen

Die nachfolgend vorgestellten Themen greifen in die internen Datenstrukturen der Qwt-Bibliotheksklassen ein und diese könnten sich in zukünftigen Bibliotheksversionen sicher noch einmal deutlich ändern. Daher sind diese Techniken mit Vorsicht zu genießen!

14.1. Objekte aus dem QwtPlot loslösen

Die API des **QwtPlot** geht davon aus, dass Objekt beim Hinzufügen/Ersetzen existierender Plotelemente das Plot als neuen Eigentümer erhalten. Sobald ein Plotelement ein vorheriges Plotelement ersetzt, löscht das **QwtPlot** das alte Objekt automatisch. Es gibt keine *release*-Funktionen, wie man die von *shared pointer*-Implementierungen kennt. Daher kann man einmal hinzugefügte Objekte nicht entfernen, anpassen und wieder neu hinzufügen.

Die empfohlene Methode ist:

1. Plotelement neu erstellen
2. anpassen
3. das bisherige PlotElement ersetzen

Mitunter ist dies aber nicht praktikabel und man hätte gerne eine Methode, um ein existierendes Objekt loszulösen. Man kann das aber mit einem Trick dennoch machen.

TODO... erklären

15. Download/Installation/Erstellung der Qwt Bibliothek

15.1. Download fertiger Pakete

15.1.1. Windows/Mac

Auf diesen Plattformen würde ich immer das Bauen aus dem Quelltext empfehlen, da das hinreichend einfach ist (siehe Kapitel 15.2 unten).

15.1.2. Linux

Unter Linux kann man auf die Pakete des Paketmanagers zurückgreifen.

Debian/Ubuntu

Beispielsweise für Ubuntu 24.04:

```
# Paket mit Headern für die Entwicklung
sudo apt install libqwt-qt5-dev
```

Headerdatei-Pfad: `/usr/include/qwt`

Für's Deployment eigener Programme und als Abhängigkeit eigener Pakete reicht es, dass Paket `libqwt-qt5-6` zu installieren.

15.2. Erstellung aus dem Quelltext

15.2.1. Windows

- Release `qwt-6.3.0.zip` herunterladen und entpacken.
- Datei `qwtconfig.pri` bearbeiten und Optionen ein-/ausschalten
- Kommandozeile mit Qt Umgebungsvariablen öffnen, z.B.: *Startmenu Qt 5.15.2 (MinGW 8.1.0 64-bit)*, oder alternativ in der Commandozeile die benötigten Umgebungsvariablen setzen.
- Ins Verzeichnis mit der `qwt.pro` wechseln

In der Commandozeile wird erwartet, dass:

- der Compiler ausführbar d.h. im Suchpfad ist
- der QTPATH gesetzt ist

MinGW32/64

Es wird eine MinGW32/64 Installation mit `mingw32-make` im PATH erwartet.

```
:: Makefile erstellen
qmake qwt.pro
:: Bibliothek und Plugin/Beispiele bauen
mingw32-make -j8
:: Bibliothek installieren
mingw32-make install
```



Die `-j8` sind für das parallele Bauen auf 8 CPUs.

Visual Studio Compiler

Es gibt verschiedene Compilerversionen, wobei 2017, 2019, 2022 oder VSCode aktuell üblich sind. Eine vorbereitete Kommandozeile öffnet man am Besten über den vorbereiteten Startmenü-Link, welcher für 2019 ungefähr so heißt: *Entwickler-Eingabeaufforderung für VS 2019*



Man muss hier darauf achten, dass man die richtige Variante wählt, also x86 oder x64.

Alternativ kann man auch eine normale Kommandozeile öffnen und danach die Compilerpfade und Optionen setzen. Hier hilft es, die normalerweise über das Startmenü verknüpfte Batchdatei auszuführen:

```
"%ProgramFiles(x86)%\Microsoft Visual Studio\2019\Community\Common7\Tools\VsDevCmd.bat" -arch=amd64
```

Gebaut wird mit jom:

```
:: Makefile erstellen
qmake qwt.pro
:: Bibliothek und Plugin/Beispiele bauen
nmake
:: Bibliothek installieren
nmake install
```

Installationsverzeichnis/Relevante Pfade

Sofern nicht in der Datei `qwtconfig.pri` ein anderer Installationspräfix in der Variable `QWT_INSTALL_PREFIX` eingestellt wurde, ist die Bibliothek nach dem Erstellen unter `c:\Qwt-6.3.0` installiert:

```
c:\Qwt-6.3.0\include - Header-Dateien
c:\Qwt-6.3.0\lib - Bibliothek/DLLs
c:\Qwt-6.3.0\doc\html - API Dokumentation ('index.html' in diesem Verzeichnis öffnen)
```

15.2.2. Linux/Mac

15.3. Qt Designer Plugins

i. wie erstellt man die Designerplugins und bekommt die in die Komponentenpalette...

15.4. Verwendung des Plots in eigenen Programmen

15.4.1. Windows

15.4.2. Linux/Mac

15.5. Das QwtPlot in eine Designer-Oberfläche/ui-Datei integrieren

Wenn man mittels Qt Designer eine Programmoberfläche baut, möchte man da vielleicht auch ein `QwtPlot` einbetten. Das kann man auf zwei verschiedene Arten machen:

1. ein `QWidget` als Platzhalter einfügen und zu einem Platzhalterwidget für das `QwtPlot` machen, oder
2. die Qwt-Designer-Plugins verwenden.

15.5.1. Definition eines Platzhalterwidgets

Zur Erklärung wird im Qt Designer ein einfaches Widget entworfen:

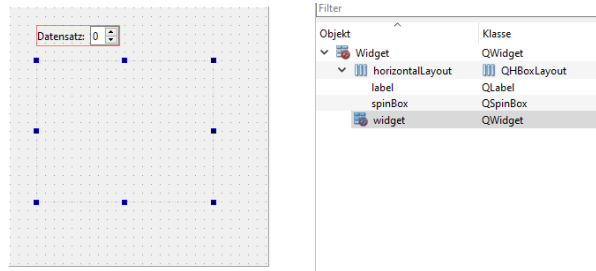
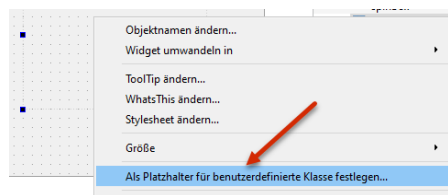
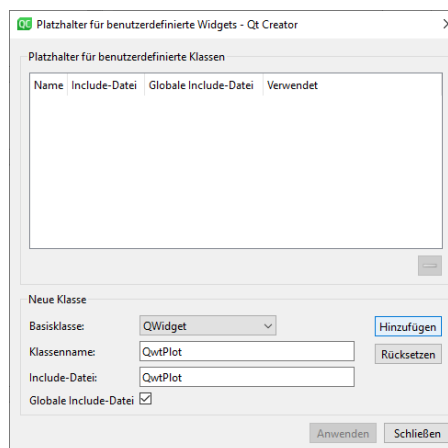


Abbildung 42. Widget mit Platzhalter-Widget für das Diagramm

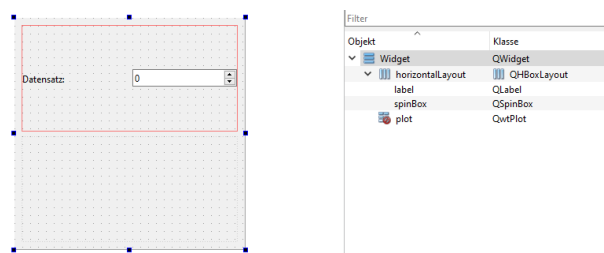
Unter der Spinbox wurde ein **QWidget** eingefügt. Dieses soll nun als Platzhalter für das **QwtPlot** dienen. Dazu im Kontextmenü des Widgets die Option "Als Platzhalter für benutzerdefinierte Klasse festlegen..." auswählen:



Und im Dialog eine neue Platzhalterklasse wie folgt definieren:



Die Eingabe mit "Hinzufügen" bestätigen und dann auf "Anwenden" klicken, um das Platzhalter-Widget in das **QwtPlot** zu wandeln. Wir benennen das noch in *plot* um, und füge das horizontale Layout und das Plotwidget in ein vertikales Layout ein:



Damit sich das Plotwidget den ganzen vertikalen Platz schnappt, wählt man das Top-Level Widget aus und scrollt in der Eigenschaftsleiste bis nach unten zu den Einstellungen für das vertikale Layout. Dort gibt man bei den Stretch-Faktoren "0,1" ein, wodurch sich das 2. Widget im Layout (das Plot) komplett ausdehnt.

15.5.2. Verwendung der Designer-Plugins

Dazu muss man die QtDesigner-Plugins zunächst erstellen und integrieren.

TODO :

Wenn man die erstmal installiert hat, kann man ein **QwtPlot** direkt aus der Komponentenpalette in den Entwurf zeihen und ist fertig.

16. Über den Autor

i. später, siehe <https://schneggenport.de>