

QR



3.5 QR-Code, das gescheckte Quadrat

Im zweiten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts findet man QR-Codes beinahe überall, wo es um die Mitteilung einer kurzen Information geht. Die kleinen, mit schwarz-weißen Karos übersäten Quadrate sind in Zeitungen, auf Prospekten, auf Verpackungen, Fahrplänen, in riesiger Form auf Plakaten, bei Museumsobjekten und vielem mehr. QR bedeutet *Quick Response*, zu deutsch „schnelle Antwort“. Sie bieten eine Antwort auf unausgesprochene Fragen wie: „Welche Internetadresse hat dieser Anbieter?“, „Was ist dies für ein Objekt?“, „Wo erfahre ich mehr?“.

3.5.1 Aufbau des QR-Codes

In diesem Abschnitt erfahren Sie mehr über den grundsätzlichen Aufbau und die Funktionsweise von QR-Codes. Dieses erkläre ich Ihnen an einem Zwerg-QR-Code, der unter Vermeidung technischer Details das Wesentliche zeigt.

Ende des vorigen Jahrhunderts wurde der QR-Code von der japanischen Firma Denso Wave [denso-wave] für die technischen Zwecke der Autofirma Toyota entwickelt. Es folgte eine allgemeine Freigabe und internationale Standardisierung. Erst 2007 wurde er europaweit bekannt und entsprechende QR-Scanner, Software zum Lesen der QR-Codes, wurden für Internet-Handys, Smartphones, Tablets, PCs u... kostenlos verfügbar. Nach dem Start eines solchen QR-Scanners erscheint die im Code verborgene Information. In Abb. 3.12a zeigt den QR-Code dieses Buches, erstellt mit [goqr].

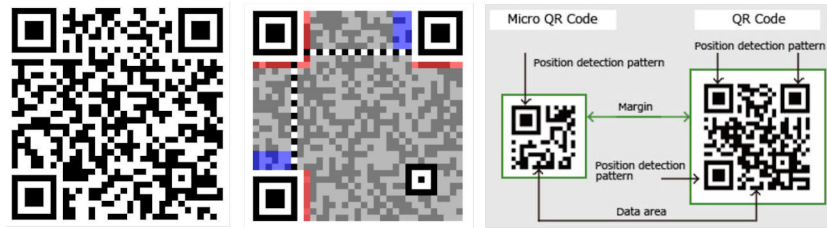


Abb. 3.12: a) QR-Code für dieses Buch b) Struktur eines QR-Codes c) Vergleich zweier Arten

Sehr oft handelt es sich bei einem QR-Code, den Sie mit einem QR-Scanner fotografieren, um eine Internetadresse. Sofern Sie der Adresse vertrauen, bringt ein weiterer Klick die Site des Anbieters auf das internetfähige Gerät. Aus Sicherheitsgründen sollte man keine QR-Scanner verwenden, die ohne Rückfrage auf eine Site verlinken.

Jeder QR-Code passt zu einer in den Standards beschriebenen Struktur. Die Hauptform besteht aus einem **Quadrat** mit mindestens 21 schwarzen oder weißen Karos in Breite und Höhe. Bis zu 177 Karos sind erlaubt. Eine auffällige **Quadratmarkierung** dreier Ecken erlaubt die Erkennung von Oben und Unten. Abb. 3.12b [Wikipedia] zeigt in Blau einen Platz für den Code der *Versionsnummer*, in Rot ist die gewählte Größe untergebracht und zwei strenge schwarz-weiße Streifen markieren klar die Größe der Karos. Das kleine Quadrat rechts unten hilft bei der Positionierung für große QR-Codes. Das in zwei Grautönen dargestellte **Datenfeld** trägt die Information in einem **fehlerkorrigierenden Code**.

Schon in den Anfängen des industriellen Gebrauchs wurden mit einem **Micro-QR-Code** Bauteile gekennzeichnet. Zulässig sind ungerade Karo-Anzahlen zwischen 11 und 17 als Breiten der QR-Quadrate. Ein Beispiel zeigt 3.12c (Quelle [denso-wave]). Allerdings erkennen nur wenige freie QR-Scanner diesen Code.

3.5.2 Für Sie erfunden: Zwerg-QR-Code

An dieser Stelle hätte ich mich entscheiden können für: „So, genug gesagt zum QR-Code, der Rest ist zu kompliziert.“. Aber ich habe mich von der Mirco-Version anregen lassen, einen *Zwerg-QR-Code* zu erfinden, an dem ich nun doch alle relevanten Eigenschaften und Codierungsvorgänge verständlich erklären kann.

Der Zwerg-QR-Code hat die im obigen Absatz fett hervorgehobenen gemeinsamen Eigenschaften aller QR-Codes. Er ist ein **Quadrat** von 7 Karos Breite mit einer in Abb. 3.13b blau-weiß gezeichneten **Quadratmarkierung** als Positionierungshilfe und einem braun dargestelltem **Datenfeld**. Dort ist Platz für $7 \cdot 7 - 14 = 35$ Karos. Wir können also 5 Codewörter

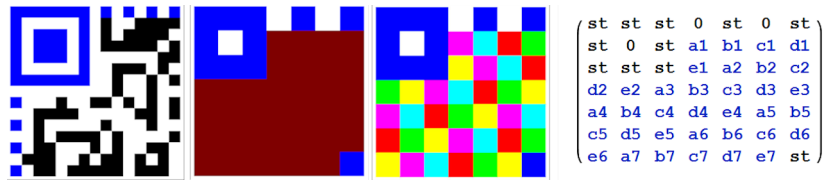


Abb. 3.13: a) Micro-QR-Code b) Zwerg-QR-Code, Positionselemente und Datenfeld c) Jede Farbe im Datenfeld repräsentiert ein Codewort d) Zugehörige Matrix

zu je 7 Bit unterbringen. Nehmen wir die Codewörter aus dem im vorigen Abschnitt erklärten **fehlerkorrigierenden Hammingcode**, dann reicht der Platz für $5 \cdot 4 = 20$ Bits in der ursprünglichen Nachricht. Die Informationseinheit 1 Bit kann mit 1 oder 0 belegt werden und wird in QR-Codes als schwarzes oder weißes Karo dargestellt. Wir haben also $2^{20} = 1048576$ Möglichkeiten für die Nachricht. Bei Bedarf können Sie in Kapitel 8 auf Seite ?? etwas über das Binärsystem lesen. Also bringt man Zahlen bis zu einer Million im Zwerg-QR-Code unter oder alle möglichen sechsstelligen Datumsangaben. Unten folgen auch Beispiele mit Buchstaben.

Der Hamming-Algorithmus kann nur einen einzigen Fehler pro Codewort korrigieren. Darum muss durch die Anordnung der Codewörter dafür gesorgt werden, dass durch einen Fleck oder Knick, die zu Lesefehlern führen, möglichst selten mehrere Fehler dasselbe Codewort treffen. In Abb. 3.13c repräsentiert jede Farbe im Datenfeld eins der fünf Codewörter. Sie sehen, dass z. B. Flecken, die ein Quadrat von vier Karos bedecken, fast immer auch vier Farben treffen. Die Lesefehler können alle korrigiert werden. Im Beispiel unten wird das aufgegriffen. Schließlich ist rechts in Abb. 3.13d noch die Matrix angegeben, die für das bunte Bild sorgt.

Nun erläutere ich Ihnen ein konkretes Beispiel. Die zu codierende Information, die Nachricht, bestehe aus fünf natürlichen Zahlen von 1 bis 15. Solche lassen sich mit 4 Bits schreiben. Wenn man mag: erlaubt sind 5 hexadezimale Ziffern. Sie werden binär geschrieben und mit dem Hamming-Algorithmus mit den drei Kreisen aus dem vorigen Abschnitt auf Seite 18 werden drei Prüfbits anhängt. Es entsteht die Matrix aus 5 Codewörtern der Länge 7 Bits, wie sie Abb. 3.14 zeigt.

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 10 \\ 8 \\ 7 \\ 11 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{A} \\ 8 \\ 7 \\ \mathbf{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{a} \\ \mathbf{b} \\ \mathbf{c} \\ \mathbf{d} \\ \mathbf{e} \end{pmatrix}$$

Abb. 3.14: Erzeugung der Codewörter für fünf Zahlen unter 16

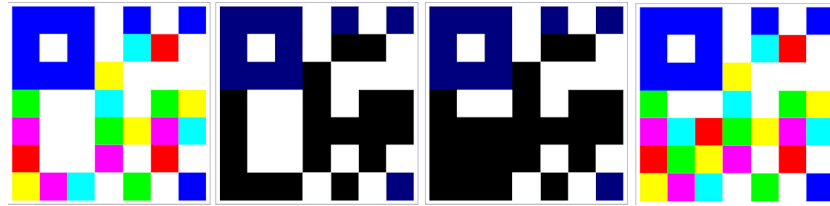


Abb. 3.15: a) Zwerg-QR-Code der 5 Zahlen b) dto. mit schwarz-weißen Karos c) Fehler durch schwarzen Fleck unten links d) dto. in farbiger Version

Abb. 3.15a zeigt den Zwerg-QR-Code zu den Codewörtern aus Abb. 3.14. Die drei Einsen in der ersten Spalte gehören zu den drei Karos in Hellblau, Rot und Gelb in den ersten beiden Datenzeilen u... Die Code-Matrix wird spaltenweise gelesen, die entstehende Kette aus Nullen und Einsen wird zeilenweise eingetragen, Nullen werden weiß dargestellt. Es folgt derselbe Zwerg-QR-Code mit schwarz-weißem Datenfeld. Der als schwarzer Fleck in 3.15c eingebaute Fehler betrifft die Bits b_4, e_4, c_5, d_5 , also ist jedes betroffene Codewort nur an einer Stelle falsch. Rechts sehen Sie die vier falschen Bits in Hellblau, Rot, Grün und Gelb, keine Farbe kommt doppelt vor. Jedes Codewort wird damit von dem Hamming-Algorithmus korrekt wieder hergestellt.

? **Aufgabe 3.2 Fehler korrigieren:** Überzeugen Sie sich mit der Fehlerkorrektur des Hamming-Algorithmus in Abb. 3.10 auf Seite 19, dass aus dem empfangenen Codewort 1 0 1 1 1 0 1 tatsächlich die Zeile b der Matrix großen Matrix in Abb. 3.14 wieder entsteht. Ebenso können Sie die nächsten Zeilen korrigieren. Auf der Website zum Buch finden Sie eine interaktive Version für Zwerg-QR-Codes.

Im echten QR-Code wirken auch *fehlerkorrigierende Codes*, es wird das **Reed-Solomon-Verfahren** verwendet. Das lässt sich in diesem Buch nicht einfach genug erklären. Interessant aber ist, dass sowohl das Modulo-Rechnen aus Kapitel 2 dieses Buches verwendet wird, als auch Polynome, wie sie hier in Kapitel 6 auf Seite ?? vorgestellt werden. Die bei meinem Zwerg-QR-Code eben erläuterte Einschränkung muss dann nicht gemacht werden, es können irgendwo zwischen 7 Prozent und 30 Prozent des Codes unleserlich sein, je nach Version des Standardcodes. Diese *Fehlertoleranz* wird auch ausgenutzt, indem ein Firmenlogo oder Ähnliches eingefügt wird, das dann das Lesen des QR-Codes dennoch nicht behindert.

Wenn Buchstaben mit dem Zwerg-QR-Code erfasst werden sollen, so könnte man die Übersetzung von Abb. ?? von Seite ?? verwenden und eine sechsstellige Zahl aus drei gegebenen Buchstaben machen. Für das Wort TAG entsteht auf diese Weise die Zahl 563743. Ins Binärsystem übersetzt



Abb. 3.16: links: Zwerg-QR-Codes, rechts: Gedicht von Chr. Morgenstern

erhält man 10001010011010111111. Das sind die vorderen Viererblöcke der Matrix in Abb. 3.16 links oben. Wie schon erklärt stammen die hinteren drei Bits jeweils aus dem Hamming-Algorithmus. Nun können Sie das bunte Bild des Zwerg-QR-Codes nachvollziehen.

? **Aufgabe 3.3 Zwerg-QR-Code lesen:** Welches Datum ist links unten in Abb. 3.16 kodiert? (Lösung Kapitel 13).

Im Internet sind nicht nur kostenlose QR-Scanner verfügbar, sondern auch freie QR-Generatoren. Mit einem solchen, nämlich [goqr] habe ich für Sie in Abb. 3.16 rechts ein vollständiges Gedicht von Christian Morgenstern im QR-Code untergebracht. „Viel Spaß damit“, sagt mein Spielhändler immer und so hoffe ich, dass Sie QR-Codes nun mit neuen Augen sehen und sie kreativ nutzen.

3.6 Rückblick auf die Codierung

Bei der Codierung geht es also darum, dass das eigentlich Gemeinte in Zeichen übersetzt wird. Dieser Übersetzungsprozess ist offen in dem Sinne, dass jeder sich darüber informieren und das Ursprüngliche wieder erstellen kann.

Jeder kann die Noten mit einem Instrument in hörbare Musik verwandeln – das ist nicht einfach, aber niemandem verwehrt. Jeder CD-Spieler gibt die auf der Scheibe codierte 0-1-Folge richtig zum Anhören wieder. Der DVD-Spieler lässt die Filmbilder richtig erscheinen und so fort. Der

passende *Reader* gibt die im Internet übermittelten Druckseiten richtig wieder.

Der oben vorgestellte *QR-Code* soll ja gerade ganz offen die Internetadresse oder eine andere Information bekanntgeben.

Im Gegensatz dazu werden in der Kryptografie aus der Nachricht Zeichenfolgen erzeugt, aus denen nur der Besitzer des zugehörigen Schlüssels die Nachricht wiedergewinnen kann und soll. Natürlich braucht die Kryptografie die *normale* Codierung als Werkzeug und man nennt die kryptografisch verschlüsselte Nachricht zuweilen auch „Code“. Manchmal wird auch der Schlüssel selbst „Code“ genannt.

Oft reichen sich beide Gebiete die Hand. Zum Beispiel ist bei der Online-Bahnfahrkarte das gerasterte Pixelfeld eine visuelle Codierung des dort auch gedruckten *Zertifikats*, das seinerseits kryptografische Eigenschaften hat, siehe Abb. 3.1. Auf diese Weise kann man die Online-Bahnfahrkarte nicht fälschen. Wenn nicht alles zusammenpasst, ist der gedruckte Zettel keine gültige Fahrkarte.

Bei genauerem Hinsehen entfaltet das modulare Rechnen, das schon in der Kryptografie eine zentrale Rolle gespielt hat, auch hier seine Kraft. Bei der EAN und der privaten Kontonummer rechnet man modulo 10, bei der alten ISBN modulo 11, bei der IBAN, der Internationalen Banknummer, wird modulo 97 gerechnet. Aber auch Loknummern der Bahn und nummerierte Geldscheine haben Prüfziffern.

Sie sehen: Codierung durchzieht unser öffentliches Leben. Wesentliche Grundgedanken haben Sie nun durchschaut.