

3 Grundlagen DataMatrix-Code

In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit den Grundlagen des DMC. Wie bereits im ersten Kapitel erwähnt, ist es schwierig ohne das entsprechende Basiswissen Entscheidungen über Markierungsart, Prozessoptimierung und ähnliches zu treffen. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die notwendigen Kenntnisse vermittelt, um einen Prozess mit DMC als Bauteilkennzeichnung grundlegend planen und einführen zu können.

3.1 Der Standard ECC 200

Der DMC ist in der **ISO/IEC 16022** international genormt. Es wird unterschieden zwischen ECC0 bis ECC140 und dem ECC200. Der ECC200 ist die neueste Generation des DMC mit einer höheren Datenkompression und verbesserter Fehlerkorrektur. Aus diesen Gründen wird empfohlen, für neue Applikationen nur noch den ECC200 zu verwenden. Alle heute auf dem Markt befindlichen Lese- und Beschriftungsgeräte für DMC beherrschen den ECC200 Standard, aber nicht unbedingt die DMC Typen von ECC0 bis ECC140. In diesem Buch wird deshalb hauptsächlich nur noch der ECC200 behandelt.

Weiterhin gibt es für den DMC noch die folgenden Qualitätsnormen **ISO/IEC 15415** und die **AIM DPM-1-2006**. Unterschiedliche Institute haben noch weitere Standards festgelegt:

AIAG DataMatrix

Vor allem in der Automobilindustrie besitzt der DMC unterschiedliche Standards, die alle von der **Automotive Industry Action Group (AIAG)** festgelegt wurden.

EAN DataMatrix oder GS1 DataMatrix

Die **Global Standards 1 (GS1)** setzen neben dem EAN8, EAN13 und EAN128 Codes inzwischen auch den EAN DataMatrix mit normierter FNC1 Datenstruktur für den Handel ein. Das FNC1-Zeichen ist für den GS1 Standard weltweit reserviert.

MIL-STD-130L

Das U.S. **Department of Defense (DoD)** verwendet den DMC als generelles Medium zur Kennzeichnung von Bauteilen.

SAE AS 9132

In diesem Standard hat die **International Aerospace Quality Group (IAQG)** weitere Qualitätsmerkmale für DPM Anwendungen für Bauteilkennzeichnung mittels DMC spezifiziert.

STAMPIT, FRANKIT

Die deutsche Post AG setzt den DMC als digitale Briefmarke ein.

Weitere Standardisierungen sind heute bereits in Bearbeitung oder schon verabschiedet, so dass es in Zukunft noch mehr DMC Standards geben wird.

3.1.1 Symbolbeschreibung

Der DMC besteht aus vier bzw. bei Codierungen mit höheren Datenvolumen aus fünf definierten Komponenten. Da die folgenden Begriffe zum ISO/IEC 16022 Standard gehören und diese somit unmittelbar zur Terminologie des DMC, werden sie nicht in die deutsche Sprache übersetzt und im nachfolgenden auch so verwendet. Die Komponenten sind: „Finder Pattern“, „Alternating Pattern“, „Alignment Pattern“, „Data Region“ und zuletzt noch die „Quiet Zone“. Jede dieser Komponenten hat entsprechende Eigenschaften und Funktionen.

Beim DMC handelt es sich um einen binären Code, der mit Nullen und Einsen interpretiert wird. Ein Element wird Modul genannt und besteht aus einer quadratischen Zelle. Je nachdem, ob sich der DMC auf weißem oder schwarzem Hintergrund befindet, gelten folgende Zuordnungen:

Schwarze Zellen auf weißem Hintergrund:

schwarz = 1; weiß = 0

Weißer Zellen auf schwarzem Hintergrund:

schwarz = 0; weiß = 1

Das Größenverhältnis zwischen einem weißen und schwarzen Modul ist 1:1.

Für den DMC ECC200 gibt es vordefinierte quadratische und rechteckige Formate, die Sie aus folgender Tabelle

entnehmen können. Die Beschreibung der Spalten und die Fortsetzung der Tabelle folgt auf der nächsten Seite.

Symbolgröße	Datenregion		Codewörter		Datenkapazität		Fehlerkorrektur	
	Zeile x Spalte	Größe	Anzahl	Daten	Fehler	Zahlen	Text	Fläche [%]
10 x 10	8 x 8	1	3	5	6	3	62,5	2
12 x 12	10 x 10	1	5	7	10	6	58,3	3
14 x 14	12 x 12	1	8	10	16	10	55,6	5
16 x 16	14 x 14	1	12	12	24	16	50,0	6
18 x 18	16 x 16	1	18	14	36	25	43,8	7
20 x 20	18 x 18	1	22	18	44	31	45,0	9
22 x 22	20 x 20	1	30	20	60	43	40,0	10
24 x 24	22 x 22	1	36	24	72	52	40,0	12
26 x 26	24 x 24	1	44	28	88	64	38,9	14
32 x 32	14 x 14	4	62	36	124	91	36,7	18
36 x 36	16 x 16	4	86	42	172	127	32,8	21
40 x 40	18 x 18	4	114	48	228	169	29,6	24
44 x 44	20 x 20	4	144	56	288	214	28,0	28
48 x 48	22 x 22	4	174	68	348	259	28,1	34
52 x 52	24 x 24	4	204	84	408	304	29,2	42
64 x 64	14 x 14	16	280	112	560	418	28,6	56
72 x 72	16 x 16	16	368	144	736	550	28,1	72
80 x 80	18 x 18	16	456	192	912	682	29,6	96
88 x 88	20 x 20	16	576	224	1152	862	28,0	112
96 x 96	22 x 22	16	696	272	1392	1042	28,1	136
104 x 104	24 x 24	16	816	336	1632	1222	29,2	168
120 x 120	18 x 18	36	1050	408	2100	1573	28,0	204
132 x 132	20 x 20	36	1304	496	2608	1954	27,6	248
144 x 144	22 x 22	36	1558	620	3116	2355	28,5	310

Symbolgröße	Datenregion		Codewörter		Datenkapazität		Fehlerkorrektur		
	Zeile x Spalte	Größe	Anzahl	Daten	Fehler	Zahlen	Text	Fläche [%]	Korrigierbar
Rechteckige Formate									
8 x 18	6 x 16	1	5	7	10	6	58,3	3	
8 x 32	6 x 28	2	10	11	20	13	52,4	5	
12 x 26	10 x 24	1	16	14	32	22	46,7	7	
12 x 36	10 x 32	2	22	18	44	31	45,0	9	
16 x 36	14 x 32	2	32	24	64	46	42,9	12	
16 x 48	14 x 44	2	49	28	98	72	36,4	14	

Tabelle 1: DataMatrix Formate⁷

Die Spalten der Tabelle 1 geben Aufschluss über den Inhalt und das Aussehen des DMC. Die **Symbolgröße** gibt an wie viele Zeilen und Spalten, abhängig von der Datenkapazität, im DMC zu finden sind. Innerhalb der **Datenregion** befinden sich die kompletten Nutzdaten und die integrierte Fehlerkorrektur des DMC. Bei einer Symbolgröße ab 32 x 32 werden die Regionen in mehrere Quadranten aufgeteilt. Die Spalte **Codewörter** gibt Aufschluss über die Anzahl der Bytes, die für Nutzdaten und Fehlerkorrektur verwendet werden. Über die **Datenkapazität** erfahren Sie, welche Menge an Zeichen Sie innerhalb eines Formates kodieren können. Bei rein numerischen Codierungen ist die Datenkapazität durch die BCD-Codierung höher, als bei Vorkommen von Textzeichen. Die Textzeichen schließen auch die Ziffern von 0 bis 9 mit ein. Die Spalte der **Fehlerkorrektur** zeigt den Platzbedarf innerhalb des Codes für die Fehlercodewörter. Weiterhin können Sie hier auch entnehmen wie viele Codewörter maximal zerstört sein

⁷ Quelle: AIM International Technical Specification

dürfen, damit sie den Code noch dekodieren können.

Im Folgenden soll kurz gezeigt werden, wie die Datenkapazität aufgrund der BCD Codierung für Zahlen verdoppelt werden kann.

Statt ein Byte für eine Zahl zu verwenden, werden bei der BCD Codierung nur die Halbbytes benutzt. Die Gewichtung ist hierbei 8-4-2-1. Anhand eines Beispiels wird die dezimale Zahl 97 in BCD kodiert.

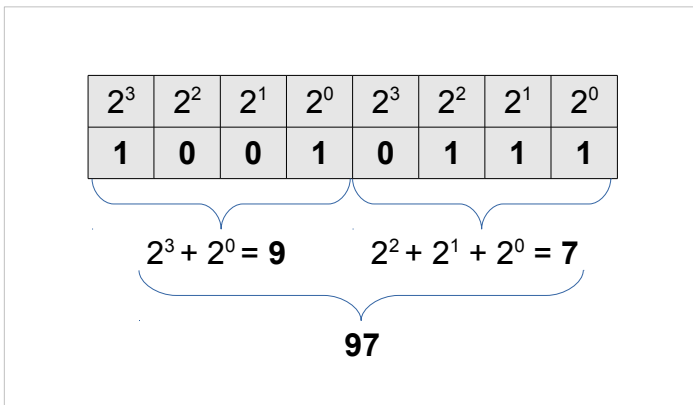


Abb. 5: BCD-Codierung⁸

Hierbei handelt es sich um einfache Basics die im Code Anwendung finden und zum Verständnis für die Unterscheidung zwischen numerischen und alphanumerischen Datenvolumen benötigt werden.

Als nächstes werden nun die Eingangs erwähnten Codekomponenten in der Tabelle auf der nachfolgenden Seite in kompakter Form zur Erklärung dargestellt.

⁸ Quelle: FuWa Informationssysteme

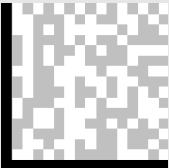


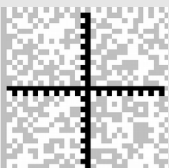
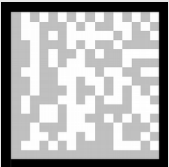
Komponente	Darstellung	Eigenschaft	Funktion
Finder Pattern		definiert Lage und Größe; bei rechteckigen Codes ist die Zellenanzahl unterschiedlich	dient dem Auffinden des DMC in beliebiger Rotation; Verzerrungen werden erkannt
Alternating Pattern		die Anzahl der Module ist geradzahlig; die Module sind abwechselnd s/w; dient zur Bestimmung der Datendichte	für die Erkennung der Symbolgröße und ECC200 Typerkennung
Data Region		enthält den gesamten Dateninhalt und die Bytes für die Fehlerkorrektur	Darstellung der Daten
Alignment Pattern		je nach Datenkapazität und Symbolformat wird der DMC in 1, 2, 4, 16 oder 36 Bereiche unterteilt	teilt Symbole mit hoher Datenkapazität in einzelne Regionen
Quite Zone		definierter Bereich um den DMC indem sich keine Störungen befinden sollten; mindestens ein Modul breit	dient der leichteren Lokalisierung der Codierung

Tabelle 2: DataMatrix ECC200 Komponenten⁹⁹ Quelle: FuWa Informationssysteme

Da der ECC200 nur geradzahlige Formate kennt, kann er von den ECC0 bis ECC140 Typen dadurch unterschieden werden, dass gegenüber des Schnittpunktes der zwei durchgezogenen Linien das Eckmodul immer frei bleiben muss. Die Typen ECC0 bis ECC140 haben eine ungerade Anzahl von Zeilen und Spalten.

Um die Daten im DMC zu kodieren gibt es verschiedene Zeichensätze. Das mögliche Datenvolumen innerhalb der Kodierung ist abhängig von diesen Zeichensätzen. Der Standardzeichensatz ist der 7 Bit ASCII Code in dem 128 Zeichen und der erweiterte 8 Bit ASCII Code in dem 255 verschiedene Zeichen enthalten sind. Da dies der meist eingesetzte Zeichensatz für die Kodierung im DMC ist, finden Sie diesen auch im Anhang. Die folgende Übersicht zeigt alle verfügbaren Zeichensätze für den DMC.

Zeichensatz	Zeichen	Bits pro Zeichen	Datenkapazität
ASCII	Fließkommazahl (double)	4	3116 Ziffern
	ASCII Werte von 0 bis 127	8	2335 Zeichen
	erweiterte ASCII Werte von 0 bis 255	16	2335 Zeichen
C40	Großbuchstaben und Ziffern	5,33	2335 Zeichen
	Kleinbuchstaben und spezielle Zeichen	10,66	2335 Zeichen
Text	Kleinbuchstaben und Ziffern	5,33	2335 Zeichen
	Großbuchstaben und spezielle Zeichen	10,66	2335 Zeichen

Zeichensatz	Zeichen	Bits pro Zeichen	Datenkapazität
X12	ANSI X12 EDI Daten-Set	5,33	2335 Zeichen
EDIFACT	ASCII Werte von 32 bis 94	6	2335 Zeichen
Base 256	Alle Byte-Werte von 0 bis 255	8	1556 Bytes

Tabelle 3: Verfügbare Zeichensätze für die Enkodierung¹⁰

Die verschiedenen Zeichensätze für den DMC können mit speziellen Umschaltzeichen innerhalb der Nutzdaten eingeleitet werden. Die Umschaltzeichen finden Sie in folgender Tabelle in binärer Darstellung.

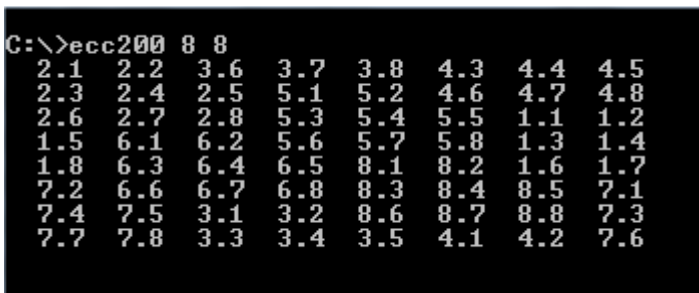
Zeichensatz	Umschalt-Zeichen	Zeichensatz	Umschalt-Zeichen
ASCII	1 1 1 1 1 1 1 0	C40	1 1 1 0 0 1 1 0
Text	1 1 1 0 1 1 1 1	X12	1 1 1 0 1 1 1 0
EDIFACT	1 1 1 1 0 0 0 0	BASE 256	1 1 1 0 0 1 1 1

Tabelle 4: Zeichensätze umschalten¹¹

3.1.2 Codewortverteilung

In diesem Kapitel geht es darum, wie die einzelnen Bits im DMC platziert werden. Für die Platzierung der Bits gibt es einen frei verfügbaren Algorithmus. Das Listing hierzu finden Sie im Anhang.

Das Programm ist eine Konsolenanwendung, die nach der Kompilierung mit zwei Befehlszeilenargumenten gestartet wird. (Beispielaufruf `ECC200 8 8`) Der erste Parameter gibt die Anzahl der Zeilen und der zweite Parameter die Anzahl der Spalten an. Angegeben wird nicht die DMC Symbolgröße, sondern die Größe der "Data Region", die immer um zwei kleiner ist wie die Symbolgröße selbst. So ist die "Data Region" eines 10 x 10 DMC genau 8 x 8, dies entspricht 64 Bits, also somit 8 Bytes. Die jeweilige "Data Region" können Sie auch problemlos der Tabelle 1 dieses Buches entnehmen. Die "Data Region" befindet sich innerhalb des "Finder Pattern" und dem "Alternating Pattern" (siehe hierzu Tabelle 2). Nach dem Programmaufruf erhalten Sie folgende Bildschirmausgabe:



```

C:\>ecc200 8 8
 2.1  2.2  3.6  3.7  3.8  4.3  4.4  4.5
 2.3  2.4  2.5  5.1  5.2  4.6  4.7  4.8
 2.6  2.7  2.8  5.3  5.4  5.5  1.1  1.2
 1.5  6.1  6.2  5.6  5.7  5.8  1.3  1.4
 1.8  6.3  6.4  6.5  8.1  8.2  1.6  1.7
 7.2  6.6  6.7  6.8  8.3  8.4  8.5  7.1
 7.4  7.5  3.1  3.2  8.6  8.7  8.8  7.3
 7.7  7.8  3.3  3.4  3.5  4.1  4.2  7.6
  
```

Abb. 6: Screenshot Codewortverteilung¹²

¹² Quelle: FuWa Informationssysteme

Aus der Berechnung der Bitplatzierung kann nun entnommen werden, wie die einzelnen Bytes verteilt werden. Die Bezifferung erfolgt als Gleitkommazahl, wobei die erste Ziffer das Byte und die Ziffer hinter dem Dezimalpunkt das zugehörige Bit angibt. Die Stelle des Bits ist in umgekehrter Reihenfolge. Das Bit 1 hat somit die Wertigkeit 2^7 . Aus der Tabelle 1 können Sie für diese Symbolgröße entnehmen, dass es für den 10 x 10 DMC drei Datenbytes und fünf Fehlerkorrekturbytes gibt, die in der DMC Spezifikation auch Codewörter genannt werden. Die Reihenfolge ist durchnummeriert. So ist das erste Datencodewort im Byte 1, das zweite Datencodewort in Byte 2 usw. kodiert. Im Anschluss folgen dann die Fehlercodewörter.

Für die bessere Darstellung wurde in der nächsten Abbildung die Kennung der Codewörter direkt in eine 10 x 10 Matrix eingefügt. Die einzelnen Bytes wurden zur eindeutigen Unterscheidung farbig hinterlegt.

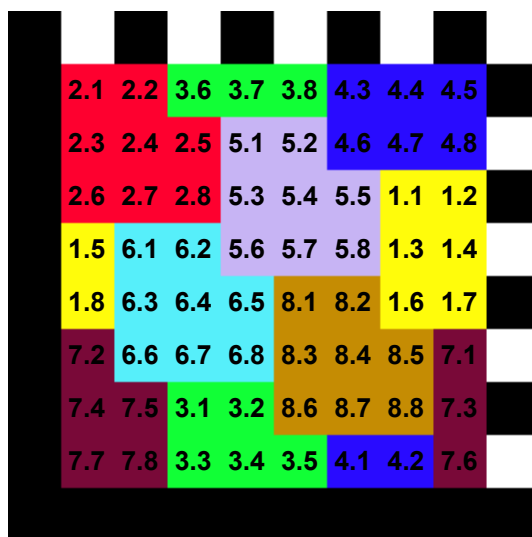


Abb. 7: Grafisch dargestellte Codewortverteilung¹³

¹³ Quelle: FuWa Informationssysteme

Wenn man die Grafik genauer betrachtet, wird man feststellen, dass ein bestimmtes Muster immer wieder vorkommt. Es handelt sich hierbei um die festgelegte Grundstruktur eines Bytes im DMC.



Abb. 8: Grundstruktur eines DMC-Bytes¹⁴

Das rechteckige Objekt gilt als "Codewort-Ideal". Aufgrund der Verteilung und der Bit-Anzahl im DMC, ist es jedoch nicht möglich, für jedes Byte dieses "Codewort-Ideal" einzuhalten, so dass es im Randbereich der DataMatrix zu Verteilungen der einzelnen Bits eines Bytes kommt. Die Verteilung entspricht einem bestimmten Schema auf das hier aber nicht näher eingegangen wird.

Die Codewortverteilung ist für das Kodieren und Dekodieren der wichtigste Bestandteil. Auf die jeweiligen Algorithmen kann im Rahmen dieses Buches jedoch nicht eingegangen werden, da die Komplexität dieser Algorithmen den Rahmen bei weitem sprengen würde. Im Unterkapitel „3.1.4 Dekodierung“ wird jedoch gezeigt, wie mit Hilfe der ASCII Tabelle im Anhang und einfacher Rechenregeln die Datencodewörter dekodiert werden können, um somit den Dateninhalt eines DMC's ohne Dekodiersoftware zu be-

¹⁴ Quelle: FuWa Informationssysteme

stimmen. Da das Kodieren der Daten retrograd zur Dekodierung durchgeführt wird, reicht es aus das Thema nur einmal zu behandeln und wird somit bei der Dekodierung in einem späteren Kapitel aufgezeigt.

3.1.3 Fehlerkorrektur

Die Fehlerkorrektur übernimmt die Aufgabe der Lesesicherheit. Sie setzt beim Dekodieren an. Aufgrund von Störungen in der Umgebung oder Zerstörungen in der Codierung sorgt die Fehlerkorrektur dafür, dass der Inhalt der Daten rekonstruiert werden kann ohne zu Falschlesungen zu führen.

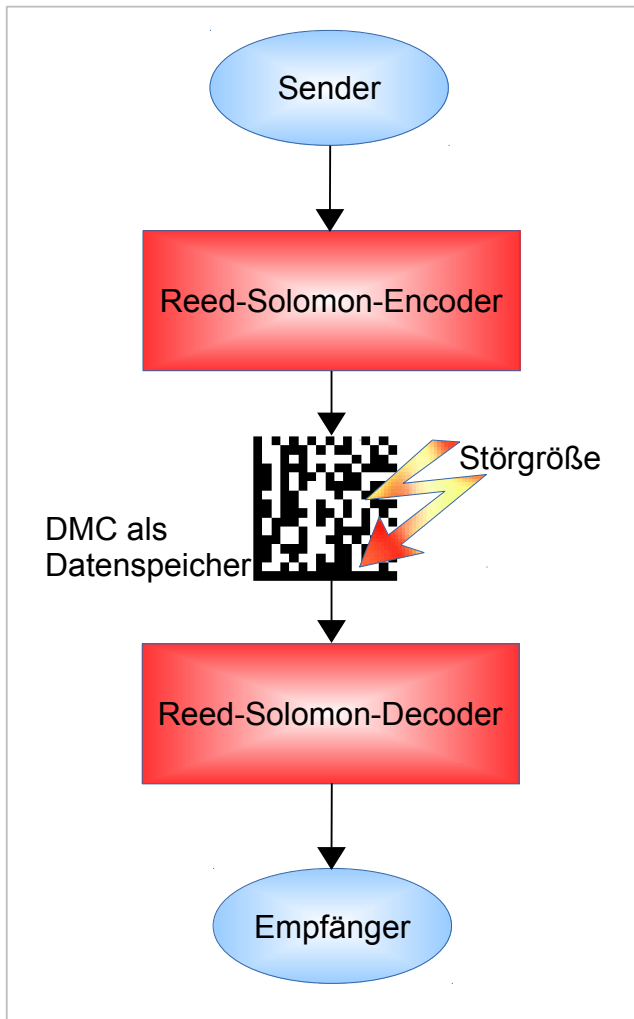
Für die DataMatrix Typen ECC0 bis ECC140 wird zur Korrektur von Fehlern die zyklische Redundanzprüfung verwendet. Bei diesem Verfahren wird für jeden Datenblock ein CRC-Wert gebildet. Die Berechnung des CRC-Wertes beruht auf der Polynomdivision. Die Bildung von CRC-Werten ist nicht Bestandteil dieses Buches. Bei Interesse findet man im Internet und geeigneter Fachliteratur genug weitere Informationen.

Der ECC200 bedient sich zur Fehlerkorrektur dem Reed-Solomon-Algorithmus. Er ist eine Untermenge der Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Algorithmen (BCH). Der Name BCH setzt sich aus den Namen der drei oben genannten Wissenschaftler zusammen, die diese Algorithmen entwickelt haben. Die Reed-Solomon-Rechnung basiert auf einem Polynom mit einer Vielzahl von Koordinaten im Raum. Falsche und fehlende Koordinaten können hierbei wieder rekonstruiert werden, damit die kodierten Daten ohne Fehler wieder zur Verfügung stehen.

Mit dem Polynom werden Fehlerkorrekturblöcke gebildet, die im DMC als Fehlercodewörter kodiert werden. Der Reed-Solomon-Algorithmus kann hier in seiner Komplexität nicht erläutert werden, da man ihm alleine ein ganzes Buch widmen kann. Er ist auch zum weiteren Verständnis und zur Zielerreichung dieses Buches nicht erforderlich. Vielmehr soll in diesem Kapitel gezeigt werden was er zu leisten vermag.

Der Reed-Solomon-Algorithmus wird nicht nur für den DMC verwendet, sondern findet auch seinen Einsatz in anderen Bereichen, wie bei der Satellitenkommunikation, bei Speichermedien - wie CD und DVD - , beim digitalen Fernsehen oder auch bei Hochgeschwindigkeitsmodems wie ADSL oder VDSL und weiteren Technologien. Grundlegend bei allen Anwendungsfällen ist jedoch die Korrektur von Fehlern, die auf einer Übertragungsstrecke zwischen Sender und Empfänger entstehen.

Das Prinzip der Übertragung mit Fehlerkorrektur wird anhand der Abbildung auf der nachfolgenden Seite mit einem DMC als Datenspeicher dargestellt.

Abb. 9: Reed-Solomon- Arbeitsprinzip¹⁵

Störgrößen müssen nicht innerhalb des Codes auftreten, sondern können auch von außen in den Prozess einwirken.

¹⁵ Quelle: FuWa Informationssysteme

Es gibt vielfältige Störquellen, die bei der Dekodierung auftreten können. Diese sind z.B. Umgebungslicht, Kratzer, Emulsionen, Öle, Frässpuren, inhomogener Hintergrund, schlechte Markierungsqualität usw.

Im Folgenden wurden zur Veranschaulichung der Fehlerkorrektur in einem qualitativ hochwertigen DMC gezielt Fehler hinzugefügt, um die Leistung der Fehlerkorrektur aufzuzeigen.

Darstellung	Störung	Fehlerbits	Defekte Codewörter
	Störung quer durch den DMC, als Simulation eines starken Kratzers	11	6
	Großflächige Störung stellt z.B. Schmutz oder ähnliches dar	13	5
	Mehrere kleinere Störungen verteilt im gesamten DMC	6	6

Darstellung	Störung	Fehlerbits	Defekte Codewörter
	Zerstörung nur entlang des Randes, somit Verletzung der „Quiet Zone“	0	0

Tabelle 5: Störungen im DMC¹⁶

Die zerstörten DMC's wurden alle durch eine Dekodiersoftware positiv ausgewertet. Bei einer dunklen Störung müssen nur die weißen Module korrigiert werden, so sind die Störungen nicht unbedingt als komplett zusammenhängend zu betrachten. Dieser Fall ist vor allem in den ersten zwei Bildern der Tabelle deutlich zu erkennen.

Die kleinen roten Quadrate wurden durch die Dekodiersoftware hinzugefügt. Sie zeigen die von der Software korrigierten Bits an. Die blauen Störungen wurden hier aufgrund einer vorgegebenen s/w-Schwelle als weiß gewertet. Die korrigierten Bits müssen demzufolge alle schwarz sein. Sie wurden aber von den Dekodieralgorithmen als weiß erkannt. Die defekten Codewörter wurden mittels der Codewortverteilung für einen 16 x 16 DMC ECC200 ermittelt. Je nach Verteilung der Defekte können somit bis zu 25% und mehr der Oberfläche zerstört sein. Bei ungünstiger Fehlerverteilung können z.B. bei einer Symbolgröße von 16 x 16 nur 7 Bits je ein Bit pro Codewort zerstört sein, damit der DMC nicht mehr dekodierbar ist. Das entspricht in diesem Fall nur einer Zerstörung der Fläche

¹⁶ Quelle: FuWa Informationssysteme

von 2,34%. Berechnet wurde der Wert nach Formel:

$$\text{Flächenzerstörung} = \frac{\text{korrigierte Bits} \times 100}{\text{Symbolgröße}} = \frac{6 \times 100}{16 \times 16} = \underline{\underline{2,34375\%}}$$

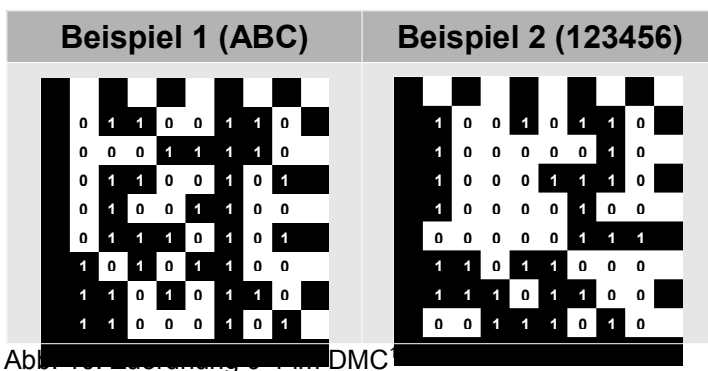
Die mögliche Korrektur von Fehlern ist deshalb stark abhängig von der Position wo diese Fehler im Code auftreten bzw. wie diese verteilt sind.

3.1.4 Dekodierung

Die Dekodierung des DMC erfolgt immer über eine Auswertung des Bildes. Für die Bildaufnahme verwenden handelsübliche Geräte die CCD oder CMOS Technologie. Bevor der Code dekodiert werden kann, ist der erste Schritt immer das Auffinden und die Lagebestimmung des Codes. Der DMC ist grundsätzlich omnidirektional lesbar. Schlägt das Finden des DMC fehl, kann keine Dekodierung durchgeführt werden. Für das leichtere Auffinden sollte unbedingt die „Quiet-Zone“ eingehalten werden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass eine Ruhezone von der dreifachen Modulgröße sich optimal auf den Prozess auswirkt. Nach der Lokalisierung übernimmt das sogenannte Preprocessing indem wir uns noch befinden, die Zuordnung der Module zu deren 0-1 Wertigkeiten. Nachdem das binäre Muster vorliegt, wird dieses der Dekodiereinheit zugeführt und das entsprechende Ergebnis zurück gegeben. Der Algorithmus der Dekodierung ist bei jedem Dekoder nahezu gleichwertig. Das Preprocessing als Vorstufe der Dekodierung unterscheidet die Qualität der Lesegeräte. Umso besser und effektiver das Preprocessing umgesetzt wurde, desto prozesssicherer ist die Dekodierung. Zum

Preprocessing gehört bei HighEnd Dekodiergeräten dann auch noch eine Bildvorverarbeitung. Hierzu aber erst mehr in späteren Kapiteln.

Es ist jedoch durchaus möglich, auch mit einfachen Rechenregeln der genormten ASCII Tabelle und Mithilfenahme der Codewortverteilung, eine Dekodierung per Hand ohne Software durchzuführen. Hierbei kann man sich alleine auf die Datencodewörter konzentrieren und die Fehlercodewörter und dessen komplexe Algorithmen ignorieren. Als Beispiel für die Dekodierung dienen uns zwei DMC mit verschiedenem Inhalt aber gleicher Symbolgröße. Im ersten Schritt ordnen wir den schwarzen Zellen eine „1“ und den weißen Zellen eine „0“ zu. Statt Zellen wird in der Fachsprache die Bezeichnung „Modul“ verwendet. Beide Beispiel-DMC's werden im folgenden parallel bearbeitet.



Der Abbildung 6 kann die Codewortverteilung für einen 10 x 10 DMC entnommen werden und somit die Bits der Abbildung 10 der beiden DMC's den entsprechenden Codewörtern zugeordnet werden. Die Zuordnung der Bits wird auf der nächsten Seite dargestellt. Hierbei ist zu

¹⁷ Quelle: FuWa Informationssysteme

beachten das Bit 1 die Wertigkeit 2^7 , Bit 2 die Wertigkeit 2^6 usw. aufweist, also genau umgekehrt wie es die mathematische Definition für eine Binärzahl vorgibt.

Codewort-Zuordnung		
	Beispiel 1 binär / dezimal	Beispiel 2 binär / dezimal
Byte 1	01000010 ₂ / 66 ₁₀	10001110 ₂ / 142 ₁₀
Byte 2	01000011 ₂ / 67 ₁₀	10100100 ₂ / 164 ₁₀
Byte 3	01000100 ₂ / 68 ₁₀	10111010 ₂ / 186 ₁₀
Byte 4	10110110 ₂ / 182 ₁₀	01110010 ₂ / 114 ₁₀
Byte 5	11001011 ₂ / 203 ₁₀	00011001 ₂ / 25 ₁₀
Byte 6	10111010 ₂ / 186 ₁₀	00000101 ₂ / 5 ₁₀
Byte 7	01011111 ₂ / 95 ₁₀	01011000 ₂ / 88 ₁₀
Byte 8	01110011 ₂ / 115 ₁₀	01100110 ₂ / 102 ₁₀

Tabelle 6: Codewort Zuordnung¹⁸

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich das der DMC mit einer Symbolgröße von 10 x 10 drei Datencodewörter und fünf Fehlercodewörter besitzt. Aus diesen Gründen genügt es in unserem Beispiel nur die ersten drei Bytes je Code für die Dekodierung der Daten heranzuziehen. Die Fehlercodewörter beinhalten die Berechnung des Reed-Solomon-Algorithmus, die wir hier nicht näher betrachten. Da sich im ersten Byte kein Umschaltzeichen befindet, können wir den ASCII 7 Bit Code voraussetzen.

¹⁸ Quelle: FuWa Informationssysteme

Hierfür gilt:

Für Werte ≤ 128

Dezimalwert – 1 = ASCII Dezimalwert

Für Werte ≥ 130 und ≤ 229

Dezimalwert – 130 = Ziffern paar

Für alle anderen Werte

Umschaltzeichen für Zeichensätze und erweiterte Funktionen

Mit den oben dargestellten Formeln und dem Vergleich der Ergebnisse mit der ASCII Tabelle (im Anhang) ergibt sich für das Beispiel 1:

$$66 - 1 = 65 = \mathbf{A}; 67 - 1 = 66 = \mathbf{B}; 68 - 1 = 67 = \mathbf{C}$$

→ **ABC**

und für das Beispiel 2:

$$142 - 130 = \mathbf{12}; 164 - 130 = \mathbf{34}; 168 - 130 = \mathbf{56}$$

→ **123456**

3.1.5 Symbolqualität

Im Zusammenhang mit dem DMC gibt es zwei wichtige Qualitätsnormen, die hier detaillierter behandelt werden. Zum einen die ISO/IEC 15415 und zum anderen die AIM DPM-1-2006. Viele auf dem Markt befindlicher Dekodiergeräte besitzen die Möglichkeit die Codierungen auf die Einhaltung dieser Norm zu überprüfen. Genormte Messgeräte hierfür werden bei den meisten Anbietern

„DMC-Verifier“ genannt. Da es sich bei der Beurteilung der DMC-Qualität um physikalische Gesetzmäßigkeiten handelt, bringt diese viele Probleme mit sich, die im näheren in den einzelnen Qualitätsmerkmalen erläutert werden.

Nach **ISO/IEC 15415** gibt es vier verschiedene Merkmale für die Qualität eines DMC. Um die Klassifizierung vornehmen zu können, wurden Qualitätsgrade gebildet. Die ISO/IEC 15415 wurde entwickelt für gedruckte Codierungen und ist somit nur begrenzt für DPM-Codierungen anwendbar. Zur Trendanalyse der DMC-Qualität ist sie aber durchaus einsetzbar.

Note	Qualität	Symbol- kontrast	Druck- zuwachs	Axiale Nicht- linearität	Unbenutzte Fehler- korrektur
A(4,0)	sehr gut	$\geq 70\%$	-0,50..0,50	$\leq 0,06$	$\geq 0,62$
B(3,0)	gut	$\geq 55\%$	-0,70..0,70	$\leq 0,08$	$\geq 0,50$
C(2,0)	befriedigend	$\geq 40\%$	-0,85..0,85	$\leq 0,10$	$\geq 0,37$
D(1,0)	ausreichend	$\geq 20\%$	-1,00..1,00	$\leq 0,12$	$\geq 0,25$
F(0,0)	ungenügend	$< 20\%$	< -1 oder > 1	$> 0,12$	$< 0,25$

Tabelle 7: Qualität nach ISO/IEC 15415¹⁹

Die Zahlenwerte in Tabelle 7 geben die Bereichsgrenzen zwischen den einzelnen Graden an. Die Berechnung dieser Werte ist nicht Umfang dieses Buches, sondern ist den Algorithmen der Qualitätsbeurteilung überlassen und wird auch für die weitere Beurteilung nicht benötigt. Wichtig ist, dass jedes Merkmal für sich beurteilt wird, wobei die Grade A bis D als „Bestanden“ und F als „nicht Bestanden“ zu werten sind. Die Gesamtqualität der Codierung entspricht der schlechtesten Einzelqualität.

¹⁹ Quelle: AIM International Technical Specification

Im Folgenden werden nun die einzelnen Merkmale zur Beurteilung der Qualität beschrieben:

Symbol Contrast (Symbolkontrast)

Der Symbolkontrast gibt den Kontrast zwischen Symbolfarbe und Symbolhintergrund an. In der Praxis handelt es sich bei den DMC Abbildungen um 8-Bit Graustufenbilder, so dass insgesamt 256 Graustufen zur Verfügung stehen. Entscheidend für den Kontrast ist somit auch die Wahl der richtigen Beleuchtung mit der das Symbol optimal vom Hintergrund getrennt werden kann. Die Codierung kann rein mit dem Auge betrachtet einen hohen Kontrast aufweisen, aber bei Wahl der falschen Beleuchtung oder bei Überbelichtung des Bildes ist es möglich das die Symbolfarbe sich vom Hintergrund nur noch minimal unterscheidet. Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Ausführungen.

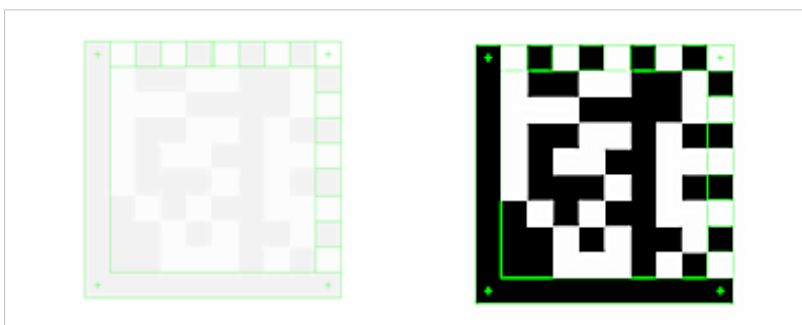


Abb. 11: Vergleich Symbolkontrast „F“ und „A“²⁰

Die linke Kodierung wurde stark überbelichtet und weist somit einen schlechten Kontrast auf, obwohl auf dem Original-Code (rechte Kodierung) ein hervorragender Kontrast vorhanden war. Bereits bei diesem Qualitätsmerkmal ist zu erkennen, dass alle Umgebungsparameter in den Prozess einwirken und die Qualitätsaussagen dadurch

²⁰ Quelle: FuWa Informationssysteme

manipulierbar werden. Um dieses auszuschließen müssten alle Umgebungsparameter konstant gehalten werden. Vor allem bei den DPM Verfahren handelt es sich oft um metallische Bauteile, die aufgrund der einzelnen Bearbeitungsstufen unterschiedlichste Hintergründe aufweisen.

Jeder Hintergrund kann als Unikat angesehen werden. Nachdem allein schon dieser Parameter nicht konstant gehalten werden kann, ohne nach weiteren möglichen Variablen zu suchen, ist vor allem bei DPM Markierungen eine 100% Qualitätsaussage nicht möglich. Im Kapitel Hintergrundbeschaffenheit werden hierzu noch reale Beispiele aus der Industrie aufgezeigt.

Print Growth (Druckzuwachs)

Mit dem Druckzuwachs ist das Verhältnis der schwarzen zu den weißen Modulen gemeint. Der DMC kann zwar in seinen physikalischen Abmessungen das richtige Verhältnis zu den einzelnen Achsen haben, aber die Module zueinander sind nicht im 1:1 Verhältnis. Entweder sind die schwarzen Module zu klein oder zu groß. Diese Abweichungen können auch innerhalb des Codes auftreten. Dieses Qualitätsmerkmal bestimmt somit die Abweichungen vom spezifizierten 1:1 Modulverhältnis, wie es auch die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt.

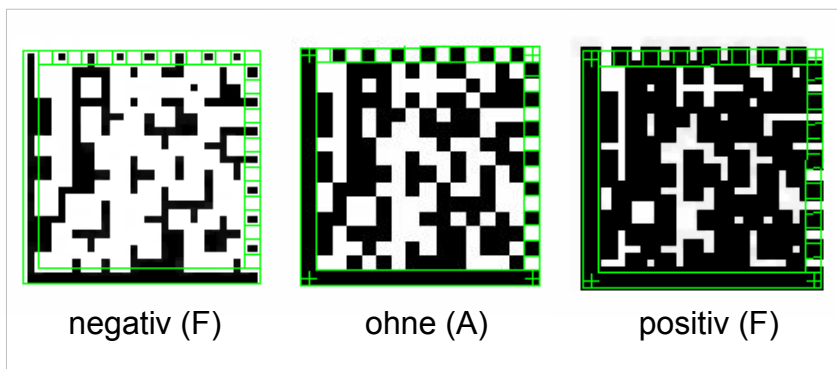


Abb. 12: Druckzuwachs im Vergleich²¹

Deutlich zu erkennen ist die Abweichung im Verhältnis zwischen schwarz und weiß. An dieser Stelle sollte auch mal kurz der grüne Rahmen um den DMC angesprochen werden. Dieser Rahmen kommt aus der von mir verwendeten Dekodiersoftware und deutet die erfolgreiche Dekodierung an. Alle Codebeispiele wurden somit auch auf Praxistauglichkeit getestet. Die Qualitätsgrade wurden direkt der Software entnommen. Auch bei diesem Qualitätsmerkmal ist es möglich mit der Optik des Lesesystems das Ergebnis zu verändern. Es muss sich deshalb nicht um ein schlechtes Druckbild handeln, sondern kann auch durch Über- oder Unterbelichtung entstanden sein. Sollte jedoch das Druckbild schlecht sein, besteht die Möglichkeit das Bild mit morphologische Filter aufzubereiten. Hier bietet sich für den negativen Druckzuwachs die Erosion und für den den positiven Druckzuwachs die Dilation an, aber dazu erst später.

²¹ Quelle: FuWa Informationssysteme

Axial-Non-Uniformity (Axiale Nichtlinearität)

Die axiale Nichtlinearität gibt an, ob im DMC eine Stauchung oder Dehnung der einzelnen Achsen vorkommt. Auch in diesem Fall ist es möglich, dass die Abbildung durch Eigenschaften von außen verändert werden. Die Anordnung des Lesesystems ist hierfür maßgebend. Je nach Winkel des Lesesystems zum Objekt tritt eine mehr oder weniger starke Stauchung auf. Vor allem bei genadelten Codierungen ist es oft erforderlich das Lesesystem in einem Winkel von ca. 45° zu installieren. Auch konstruktive Randbedingungen einer bestehenden Anlage können einen Anbau von 90° verhindern. Die nachfolgende Abbildung zeigt die axiale Nichtlinearität im DMC.

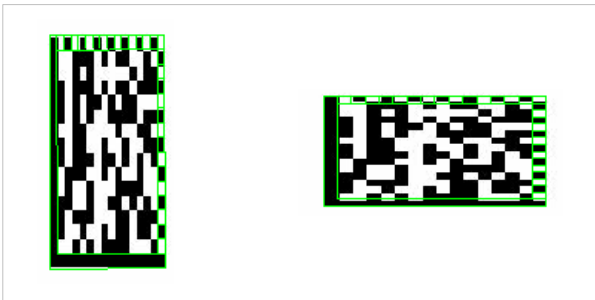


Abb. 13: Vertikale und horizontale Nichtlinearität,
Qualität: „F“²²

High-End Dekodiersysteme verfügen über Skalierungsfunktionen, die es ermöglichen durch Korrekturfaktoren beide Achsen des verzerrten Codes wieder in das richtige Verhältnis zu rechnen.

²² Quelle: FuWa Informationssysteme

Unused Error Correction (Unbenutzte Fehlerkorrektur)

Angelangt beim letzten Qualitätsmerkmal der ISO/IEC 15415 gibt die „unbenutzte Fehlerkorrektur“ darüber Aufschluss, ob Datencodewörter zerstört sind. Ist nur ein Bit zerstört wird sofort der Reed-Solomon-Algorithmus in der Kodierung angewendet. Umso mehr Bits bzw. Datencodewörter zerstört sind, desto mehr Fehlercodewörter müssen für die Datenrekonstruktion verwendet werden. Liegt die Qualität des Merkmals hier bei „F“, kann es ausreichen das beim nächsten auftretenden Bit-Fehler der Inhalt nicht mehr rekonstruierbar ist und somit die Dekodierung des Codes nicht mehr erfolgreich durchgeführt werden kann. Je nach Dekodiersoftware erhält man dann eine entsprechende Fehlermeldung.

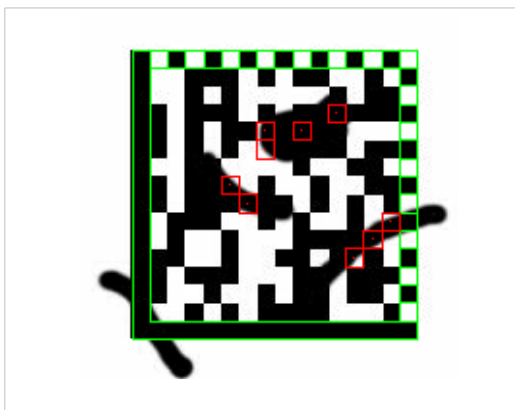


Abb. 14: Angewandte Fehlerkorrektur,
Qualität: „F“²³

In den vorausgegangenen Erläuterungen sollte inzwischen deutlich erkennbar geworden sein, dass diese Qualitätsmerkmale vor allem für DPM Verfahren meist nur begrenzt verwendet werden können. Vor allem durch die Oberfläche

²³ Quelle: FuWa Informationssysteme

der Bauteile, die Frässpuren, Reflexionen, Unebenheiten usw. aufweisen, erstellte man in Anlehnung an die ISO/IEC 15415 die Norm **AIM DPM-1-2006**. Die vier Qualitätsgrade der ISO/IEC15415 wurden bis auf den Symbolkontrast übernommen. Statt dem Symbolkontrast wurde der Zellenkontrast eingeführt.

Das Qualitätsmerkmal „Print Growth“ wird auch als „Grid-Non-Uniformity“ bezeichnet, das vor allem in der AIM-Norm häufiger Verwendung findet. Hinzu kommen drei neue Qualitätsmerkmale, so dass in der AIM-Norm insgesamt sieben Auswertungen zur Verfügung stehen. Genauso wie in der ISO/IEC 15415 wird eine Gesamtqualität gebildet. Der schlechteste Einzelwert entspricht hierbei automatisch der Gesamtqualität. Die neuen bzw. veränderten Merkmale werden im Folgenden erklärt.

Cell Contrast (Zellenkontrast)

Der Zellenkontrast entspricht weitestgehend dem Symbolkontrast. Er unterscheidet sich in der Differenzberechnung zwischen Vorder- und Hintergrund. Hier wird nicht das ganze Symbol, sondern jede einzelne Zelle (Modul) für die Berechnung heran gezogen. Aus diesem Grund wurden für das Grading auch neue Grenzwerte ermittelt die in der folgenden Tabelle dargestellt sind.

Note	Qualität	Zellen- kontrast
A(4,0)	sehr gut	$\geq 30\%$
B(3,0)	gut	$\geq 25\%$
C(2,0)	befriedigend	$\geq 20\%$
D(1,0)	ausreichend	$\geq 15\%$
F(0,0)	ungenügend	$< 15\%$

Tabelle 8: Zellenkontrast nach AIM DPM-1-2006²⁴

Cell Modulation (Zellenmodulation)

In der ISO/IEC 15415 wird auch das Merkmal Modulation beschrieben, das aber nicht in den Qualitätsmerkmalen ausgegeben wird. Anders ist das in der AIM-Norm. Hier wurde der Parameter Modulation aber gegen die Zellenmodulation ausgetauscht. Es handelt sich um einen rein rechnerischen Wert, der die Amplitude des Grauwertprofils berechnet. Dieser Wert dient zur Unterscheidung der 0-1 Wertigkeiten der einzelnen Bits. Höhere Amplituden bedingen die bessere Erkennung zwischen schwarzen und weißen Modulen.

Fixed Pattern Damage (Randmuster-Zerstörung)

Das Randmuster setzt sich aus dem „Finder Pattern“ und dem „Alternating Pattern“ zusammen. Dieses ist sehr wichtig für die Lokalisierung und Symbolbestimmung des DMC. Eine hohe Zerstörung erfordert einen stabilen Suchalgorithmus. Die meisten auf dem Markt befindlichen Dekodiergeräte haben große Probleme die DMC-Symbole im Bild aufzufinden, wenn das Randmuster auch nur minimal gestört ist. Zum Randmuster gehört selbstverständlich auch die „Quiet Zone“, die eine Ruhezone um das Randmuster

²⁴ Quelle: AIM Global Document: AIM DPM-1-2006

vorgibt. Vor allem High-End Lesegeräte, wie die der Firma Unglaube GmbH, können auch mit stark zerstörten Randmustern problemlos umgehen, wie dies die nächste Abbildung zeigt.

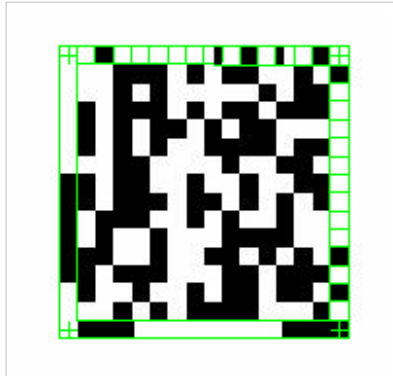


Abb. 15: Zerstörtes Randmuster²⁵

Nachdem nun alle Qualitätsmerkmale besprochen sind, sei auch an dieser Stelle nochmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den Dekodiersystemen um optische Systeme handelt. Um eine exakte Qualitätsauswertung treffen zu können, müssen für eine Qualitätsbewertung alle Randbedingungen konstant gehalten werden. Ist dies z.B. allein durch die Hintergrundbeschaffenheit des Bauteiles nicht möglich, können in einem Prozess nur Qualitätstrends aufgezeigt werden. Vor allem im AIM DPM-1-2006 Standard werden spezifische Kameraeinstellungen wie Gain, Belichtungszeit, Beleuchtung und weitere mit festgehalten. Ändert sich nur ein Parameter, ändert sich ggf. auch die Qualität des DMC.

²⁵ Quelle: FuWa Informationssysteme