

## 5 Codierung diskreter Informationen am Beispiel der Identtechnik

### 5.1 Denkansatz auf Basis strukturierter Sensorsysteme

Kapitel 3 und 4 demonstrierten anhand verschiedener Beispiele, dass eine physikalische Messgröße – auch wenn diese nicht direkt magnetisch auswertbar ist – mit einem galvanomagnetischen Sensorsystem gemessen werden kann, sofern die geometrische Struktur zumindest einer Systemkomponente informationsabhängig beeinflussbar ist. Jede Strukturvariation, die eine detektierbare Änderung des Magnetfeldes in der Ebene der sensitiven Systemkomponente hervorruft (s. Kapitel 2.2.2), repräsentiert einen zunächst unbekanntem, jedoch definierten Wert der Messgröße innerhalb eines normalerweise bekannten Messbereiches. Ist die ursprüngliche Information eindeutig aus dem modulierten Magnetfeld zu bestimmen, so ist die Zuordnung eineindeutig und zur Realisierung eines Messsystems geeignet.

Die Abbildung einer Messgröße auf die geometrische Struktur eines galvanomagnetischen Sensorsystems genügt genau dann der in Kapitel 2.4.1 dargelegten allgemeinen Definition der Codierung nach DIN 44300 [DIN-88a], wenn jeder definierte Zustand der Messgröße reproduzierbar eine definierte geometrische Strukturvariante einer Sensorsystem-Komponente hervorruft oder dieser zugeordnet ist. Ist diese Voraussetzung erfüllt, so lässt eine derartige Abbildung die gezielte Codierung definierter, diskreter Informationen zu. Das Prinzip der Strukturvariation ist damit prinzipiell auch spiegelbildlich zur Definition von Messsystemen für die Realisierung von Codier- und Verschlüsselungssystemen einsetzbar.

Das Beispiel der datenträgergebundenen Identtechnik gestattet einen kurzen Einblick in das Anwendungspotenzial strukturvariierten Komponenten galvanomagnetischer Sensorsysteme im Bereich der Codierung definierter Informationen. In Anlehnung an die in Handel, Logistik und Produktion etablierten Barcodes werden Möglichkeiten für den Aufbau, die Auswertung und die Optimierung nicht-programmierbarer Codes aus strukturierten magnetisch leitenden Elementen vorgestellt.

## 5.2 Codierung für Identifikations- und Informationssysteme

### 5.2.1 Codierungsarten und Codierungsformen

Codes dienen nahezu ausschließlich der Anpassung einer gegebenen Information an eine anwendungsspezifische Umgebung, welche aus Daten verarbeitenden Geräten und Systemen, immateriellen Einflüssen und/oder Personen aufgebaut sein kann. In einigen Praxisfällen wird diese Hauptfunktion eines Codes durch spezielle Aufgaben wie etwa einer Kompression oder Verschlüsselung der Ausgangsinformationen ergänzt oder ersetzt. Dabei werden heutzutage überwiegend Codes eingesetzt, die eine maschinelle Verarbeitung der Ursprungsdaten gestatten. Die hierfür zur Verfügung stehenden Codearten sind, obwohl überwiegend numerisch, kaum überschaubar. Die derzeit wichtigsten der in der rechnergestützten Datenverarbeitung und in der Industrie eingesetzten Codearten sind nach [JES-00] der *BCD*-, der Aiken-, der Gray-, der Dual- sowie Barcodes in verschiedenen Ausführungen (Kapitel 5.2.2). Die aufgeführten Codes sind Binärcodes, d. h. die Zeichen sind aus Folgen von Binärziffern ( $\rightarrow$  *Bits*) aufgebaut. Sie sind daher ideal für eine rechnergestützte Verarbeitung geeignet. Auch Barcodes mit unterschiedlichen Elementbreiten können Binärcodes sein, sofern die breiteren Elemente ganzzahlige Vielfache eines *Moduls*, das nur die Zustände „hell“ oder „dunkel“ annehmen kann (Bild 5.1 in Kapitel 5.2.1), sind.

Codes werden anhand des physikalischen Prinzips, welches der Erfassung der codierten Zeichen sowie in den meisten Fällen auch dem Verfahren zur Realisierung zugrunde liegt, in Codierungsformen eingeteilt. Obwohl seit mehr als 100 Jahren ständig neue Codierungsmaschinen und mit diesen auch neue Codierungsformen entwickelt werden, erlangten nur wenige Formen in der datenträgergebundenen Informationsverarbeitung Bedeutung:

- Eine der ersten Codierungsformen war die *mechanische Codierung*, welche mittlerweile jedoch kaum noch Beachtung findet. Die bekanntesten Ausführungsformate sind Lochkarten und Lochstreifen, die mit bis zu acht parallel gestanzten Informationsspuren hergestellt wurden.
- Zur *elektrischen* bzw. *elektronischen Codierung* zählen heute insbesondere die als *RFID-Systeme* bekannten Identifikations- und Informationssysteme auf Basis der Radiofrequenz-Technik, deren als *Transponder*, als *Tag* oder als *Smart Label*

bezeichnete Datenträger mit einem integrierten Schaltkreis inklusive Antenne und Datenspeicher (*RAM*, *ROM* oder *EEPROM*) ausgestattet sind [EBE-02, LEN-01]. *Aktive Transponder* sind mit einer eigenen Energieversorgung (Batterie oder Solarzelle) ausgestattet, während *passive Transponder* die benötigte Energie aus dem elektrischen oder magnetischen Feld der zugehörigen Schreib-/Leseinheit beziehen. Die Datenträger können berührungslos über kleine (passiv bis 1,2 m) und mittlere (aktiv bis 100 m) Distanzen gelesen und programmiert werden. RFID-Systeme werden vor allem in der Logistik und in der industriellen Fertigung zur Steuerung des physischen Materialflusses, aber auch in anderen Bereichen zur Sicherung und/oder Identifikation, z. B. Wegfahrsperrung, eingesetzt.

Ebenso zählen die so genannten *Smartcards* zur elektronischen Codierung. Die Kunststoffkarten sind mit einem les- und (wieder-)beschreibbaren Halbleiterchip versehen, auf dem im Falle der *Speicherkarte* eine einfache Logikschaltung, bei der *µP-Karte* eine Schaltung mit Mikroprozessor für komplexere Anwendungen realisiert ist [RAN-02]. Chipkarten eignen sich als Identifikationsmedium, wenn nur einfache Zusatzfunktionen mit wenigen variablen Daten auszuführen sind: *SIM-Karten* in Mobilfunktelefonen speichern z. B. neben der eigenen Rufnummer als Zugangsberechtigung für ein Mobilfunknetz auch modifizierbare Daten wie Telefonbucheinträge, Kurznachrichten im Textformat (→ *SMS*) oder Kalenderdaten. Chipkarten deutscher Krankenkassen fungieren hingegen als reines Identifikationsmedium für Personen, während Bankkarten (→ *Geldkarte*) und Telefonkarten lediglich variable, anonyme Daten zur Durchführung einer Zahlfunktion speichern.

- Kunststoff- oder Pappkarten mit einem Magnetstreifen sind die bekannteste Ausführung der *magnetischen Codierung*. Sie dienen vornehmlich der Personenidentifikation und der Legitimation im Kreditgewerbe (*BankCard* mit *Maestro*-Funktion → ehem. *EC-Karte*, Kreditkarten), bei Zeiterfassungs- oder Zugangskontrollsystemen. Abmessungen, Lage, Informationsinhalt und -dichte der drei Spuren des Magnetstreifens sind durch die ISO-Normenreihe 7810 bis 7813 [ISO-95, ISO-00, ISO-01, ISO-02] geregelt. Folgen getakteter magnetischer Flusswechsel beinhalten die 5- und 7-Bit-codierten Informationen, die in sehr geringem Abstand von Magnetsensoren (z. B. Hall-Sensoren, vgl. Kapitel 2.1) gelesen werden können. Weitere Einsatzbereiche sind Zahl- oder *Prepaid*-Karten im Dienstleistungssektor – z. B. Park-, Maut- oder Kantinenkarten [VOL-95] – mit anwenderspezifischen Datenspuren und Formaten.

Harmonische und akustomagnetische Warensicherungsetiketten sind 1-Bit magnetisch codiert. Ein amorpher Metallstreifen ist zusammen mit einem hartmagnetischen Metallstreifen, der im „aktiven“ Zustand unmagnetisiert ist, in das Etikett integriert. Der amorphe Metallstreifen wird durch das elektromagnetische Feld einer Personenschleuse am Ausgang eines Warenhauses angeregt und erzeugt ein von der Schleuse detektierbares elektromagnetisches Signal. Durch die Magnetisierung des hartmagnetischen Metallstreifens während des Kassiervorgangs wird die externe Anregung des amorphen Metalls unterbunden – das Etikett ist deaktiviert [ZEC-99].

Eine Kombination aus optischer und magnetischer Codierung stellen magnetisch-visuelle Schriften dar. Die visuell lesbaren Zeichen werden mit einer Eisenoxide enthaltenden Farbe gedruckt. Eine unmittelbar vor dem Lesevorgang durchgeführte Magnetisierung ermöglicht die magnetosensorische Erfassung [LEN-01]. Magnetschriften werden bislang kaum in der Identtechnik verwendet.

- Die *optische Codierung* kann, bezogen auf das Gebiet der Identtechnik, grob in zwei Bereiche aufgeteilt werden: Maschinenlesbare Schriften und Barcodes, die in Kapitel 5.2.2 behandelt werden. Die Klarschriftlesung, d. h. eine schnelle, sichere und eindeutige automatische Identifikation handgeschriebener Information ist bislang nur unzureichend für spezielle Praxisanwendungen gelungen, z. B. Unterschriftenvergleich bei Kreditinstituten. Demgegenüber sind verschiedene stilisierte, maschinell lesbare Schriften entwickelt worden. Beispiele hierfür sind zum einen die Zeichen der *CMC-7-Schrift*, die ähnlich den Barcodes aus senkrecht zur Leserichtung angeordneten Strichen gebildet werden, zum anderen die nach Form, Größe und Abstand genormten Zeichen der *OCR-Schriften*, siehe [DIN-77, DIN-89], die u. a. für das *Klartextfeld* von Barcodes vorgeschrieben sind oder beispielsweise die automatische Paket- und Briefverteilung ermöglichen.

Codes für die Identtechnik unterliegen verschiedenen Anforderungen, die teils nur durch Kompromisslösungen zu erfüllen sind. Die wichtigsten Anforderungen sind:

- Eindeutigkeit,
- geringe Zeichenlänge,
- leichte Erlernbarkeit und Anwendbarkeit sowie
- hohe Sicherheit.

Gerade die Sicherheit eines Codes, die bedeutet, dass etwaige Fehler bei der Codierung oder bei der Übertragung durch die Leseinheit erkannt und möglichst korrigiert werden, ist nur durch einen erhöhten Platzbedarf und/oder einen erweiterten Zeichenvorrat zu erzielen. Gebräuchliche Methoden der Fehlersicherung sind die Verwendung von Paritätsbits und Prüfziffern. Beide Möglichkeiten gestatten zwar eine Gültigkeitsprüfung der übertragenen Nutzzeichen, bedeuten aber eine Erweiterung der Nutzinformation um zusätzliche Zeichen.

Ein Paritätsbit ermöglicht eine Kontrolle der Anzahl der in einem empfangenen Zeichen gesetzten Bits, z. B. dunkle Module in Barcodes. So kann beim Senden der Nutzzeichen durch Anhängen eines Paritätsbits erreicht werden, dass immer eine gerade Anzahl an gesetzten Bits übertragen wird. Ist die Anzahl der gesetzten Bits auf der Empfängerseite dagegen ungerade, ist sofort ein Fehler zu erkennen. Jedoch können mehrere Bitfehler bei einer Zeichenübertragung die zu prüfende Parität wieder herstellen. Aufgrund der geringen Sicherheit dieser Prüfmethode nutzen viele Codes wie etwa Barcodes zusätzliche Prüfziffern (Kapitel 5.2.2). Über einen festgelegten mathematischen Algorithmus kann ein Lesesystem aus den empfangenen Nutzzeichen einer Information eine Ziffer ermitteln, die mit der ebenfalls übertragenen Prüfziffer übereinstimmen muss. Auch bei dieser Methode können einzelne Fehler nicht erkannt werden, jedoch mit deutlich niedrigerer Wahrscheinlichkeit.

Der Sicherheitsaspekt stellt zudem Anforderungen an den Datenträger. Die in der Identtechnik überwiegend benötigten, nicht-programmierbaren, d. h. nicht beschreib- oder korrigierbaren, Datenträger werden nach *Belegen* und *Ausweisen* unterschieden. Im Gegensatz zu Belegen, die mit einer kurzen Verwendungsdauer und -frequenz meist nur eine geringe Bedeutung besitzen, sind Ausweise wegen der meist hohen Verwendungsdauer und -frequenz sowie Wichtigkeit der codierten Daten besonders stabil und sicher gegenüber Manipulation oder Datenverlust zu fertigen.

Zur Erläuterung der spezifischen, von der Codierungsform und der jeweiligen Applikation abhängigen Lesesysteme wird auf die angegebene Literatur verwiesen.

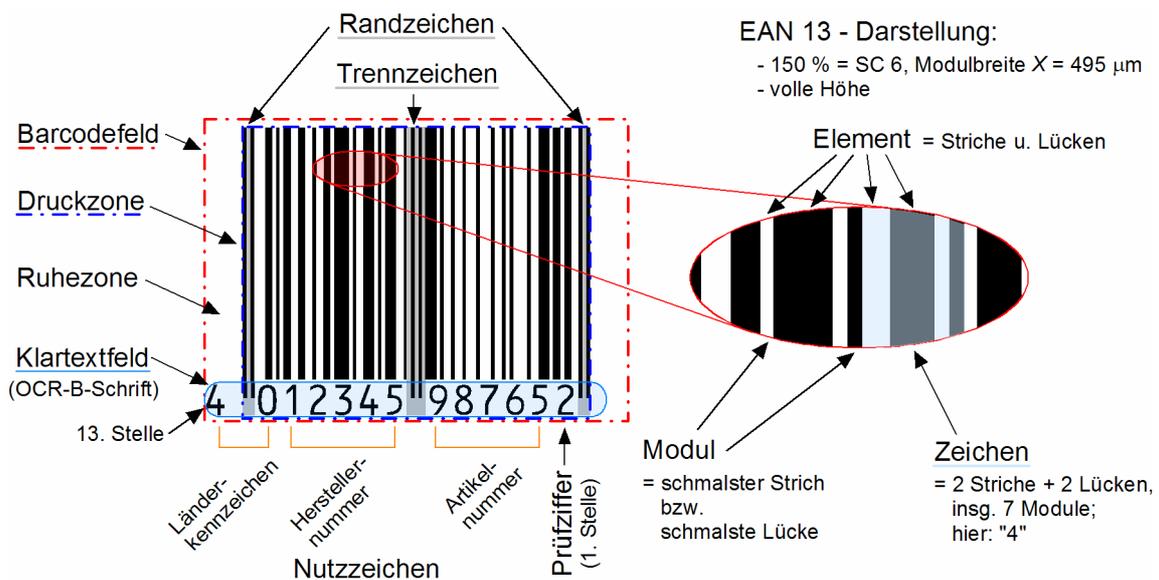
### 5.2.2 Barcodetechnik als Vorbild für magnetische Codierung

Das Prinzip der Barcodetechnologie (engl. *bar*: Balken, Strich) geht auf ein US-amerikanisches Patent zurück, das bereits im Jahre 1949 angemeldet wurde. Der

damalige Mangel an den früher zudem sehr teuren elektronischen Bauelementen, die zur Erfassung und Auswertung dieser optischen Codierungsform benötigt wurden, verhinderte eine Ausweitung von Barcodeanwendungen über den militärischen Bereich hinaus. Erst mit der Mikroprozessortechnologie entstanden für diese Codierungsform Praxisanwendungen, die bis heute zur Entwicklung von mehr als 200 verschiedenen Barcodes führten. Obwohl nur die Interpretation anwendungsspezifisch ist, erlangten nur wenige Barcodes eine Bedeutung für ein breites Spektrum in der Praxis – z. B. *Code 2/5*, *Code 39*, *EAN-Codes*, *PDF 417* oder *Matrix-Codes* [JES-00]. Typische Einsatzfelder sind derzeit die Produktidentifikation bei Kassivorgängen in Warenhäusern, die industrielle Lagerhaltung, die Logistik oder die Materialverfolgung und -sortierung in (teil-)automatisierten Fertigungsprozessen. Ebenso dienen Barcodes auf Ausweiskarten zur Personenidentifikation, zur Katalogisierung in Bibliotheken und Videotheken oder zur Identifikation von Blutkonserven in der Medizin.

Barcodes bestehen aus einer begrenzten Anzahl optisch unterscheidbarer Zeichen, die jeweils aus alternierenden Folgen dunkler und heller Striche mit teilweise unterschiedlicher Breite zusammengesetzt sind. Die Anzahl unterschiedlicher Breiten erlaubt eine Klassifizierung der Barcodes in Zwei- und Mehrbreitencodes, deren Vorteil eine geringere Barodelänge infolge der erhöhten Informationsdichte ist.

Den prinzipiellen Aufbau eines Barcodefeldes verdeutlicht Bild 5.1 anhand einer Beispielinformation im Format des Mehrbreitencodes *EAN 13* [DIN-96].



**Bild 5.1:** Grundaufbau eines Barcodefeldes am Beispiel des EAN 13

Das Barcodefeld besteht aus definierten Symbolen und Bereichen:

- *Element*: Einzelner Strich oder einzelne Lücke in einem Barcode. Ein Element ist ein ganzzahliges Vielfaches eines *Moduls*. In so genannten Zweibreitencodes bestehen Elemente aus maximal zwei Modulen, in Mehrbreitencodes variiert die Modulzahl zwischen 1 und heute üblicherweise 4.
- *Modul*: Schmalstes Element eines Codes mit definierter Breite in Millimetern.
- *Zeichen*: Durch die einem Code zugrunde liegende Abbildungsvorschrift festgelegte, alternierende Elementfolge aus Strichen und Lücken zur Codierung alphanumerischer Zeichen und Sonderzeichen. Linksbündige Zeichen beginnen, rechtsbündige Zeichen enden mit einem Strich.
- *Ruhezone*: Helle, unbeschriftete Zone vor und hinter – teils auch ober- und unterhalb – der Strichcodierung, die zur Abgrenzung des Codes von anderen Darstellungen auf dem Träger dient, um einen fehlerfreien Leseprozess zu ermöglichen. Die Ruhezone muss der 10- bis 15-fachen Modulbreite  $X$  entsprechen, bei Scanneranwendungen mindestens 2,5 mm bzw. 6,5 mm.
- *Nutzzeichen*: Zeichen, welche die Information enthalten. Die Nutzzeichenzahl in einem Barcodefeld ist codeabhängig und meist festgelegt.
- *Start-/Stoppszeichen* (Randzeichen): Codespezifische, unterschiedliche Elementfolgen, die Anfang bzw. Ende des Barcodefeldes markieren. Die Struktur ermöglicht die Codeerkennung und die Lesbarkeit in beiden Richtungen.
- *Trennzeichen*: Zeichen, das zur Unterteilung verschiedener Informationen in einem einzigen Barcodefeld dient. Trennzeichen sind ebenso wie Randzeichen codespezifisch und weisen als optisches Merkmal üblicherweise eine größere Barcodehöhe als die benachbarten Nutzzeichen auf.
- *Klartextfeld*: Mit wenigen Ausnahmen unmittelbar unter dem Barcode angeordneter Bereich, der die strichcodierte Information zusätzlich in Klarschrift zeigt. Dadurch ist bei fehlerhafter Lesung des Strichcodes eine manuelle Dateneingabe in das verarbeitende System möglich. Zur Darstellung ist üblicherweise eine OCR-Schrift (vgl. Kapitel 5.2.1) vorgeschrieben.

Der EAN 13 (Bild 5.1) dient zur Darstellung der **Europäischen Artikel Nummerierung**, die für jede unterscheidbare Verkaufseinheit aller Ge- und Verbrauchsgüter im Einzelhandel unverwechselbar vergeben und – falls möglich – sichtbar auf der Ware

und/oder der Warenverpackung abgedruckt wird. Die Nummerierung ermöglicht neben der eindeutigen Identifikation eines Produktes eine datenbankorientierte Lagerhaltung und Preiszuordnung, die insbesondere vorteilhaft für Kassiervorgänge in Warenhäusern eingesetzt wird. Die EAN wird vom Hersteller des Artikels auf Grundlage der Basisnummer frei vergeben. Die Basisnummer besteht aus der Länderkennzahl und der Betriebsnummer des Herstellers, die von der zuständigen Vergabeorganisation eines Landes einmalig zugeteilt wird. In Deutschland vergibt die *Centrale für Coorganisation GmbH* (Länderkennzeichen 40 – 43) die sog. **bundeseinheitliche Betriebsnummer (bbn)** [CCG-77a]. Der EAN 13 umfasst zwei rechtsbündige Zeichensätze A und B mit unterschiedlicher Parität sowie einen linksbündigen Zeichensatz C, die jeweils die Abbildung der Ziffern 0 – 9 gestatten. Während Zeichensatz C ausschließlich zur Codierung der 5-stelligen Artikelnummer dient, codieren Kombinationen aus den Zeichensätzen A und B die Herstellernummer. Die Paritätsfolge dieser Nummer ergibt die nicht strichcodierte 13. Stelle der EAN, welche die erste Ziffer des Länderkennzeichens beinhaltet (vgl. Bild 5.1) [CCG-77b, JES-00]. Der EAN 13 ist ein selbst prüfender Barcode mit einer Prüfziffer, die nach einem Modulo 10-Algorithmus aus den 12 Nutzziffern berechnet und an der 1. Stelle eingetragen wird, Tabelle 5.1.

**Tabelle 5.1:** Berechnung der Prüfziffer des Barcodes EAN 13 nach Bild 5.1

Codestelle	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
<b>Nutzziffer (<math>N_i</math>)</b>	4	0	1	2	3	4	5	9	8	7	6	5	
<b>Gewichtung (<math>G_i</math>)</b>	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	
<b>Produkt (<math>P_i = N_i \times G_i</math>)</b>	4	0	1	6	3	12	5	27	8	21	6	15	
<b>Summe (<math>S = \sum P_i</math>)</b>	108												
<b>Prüfziffer (<math>PZ = 10 - (S \text{ Mod } 10)</math>)</b>													<b>2</b>

EAN-Codes können um ein so genanntes *EAN-Addon* (auch: *EAN-Addendum*) erweitert werden. Solche 2- oder 5-stelligen Zusatzcodes, die keine Prüfziffer besitzen, finden Verwendung bei der Codierung von Presseerzeugnissen: 5-stellige Addons enthalten den Ladenverkaufspreis von Büchern, 2-stellige Addons die Folgenummer von Zeitschriften und Zeitungen.

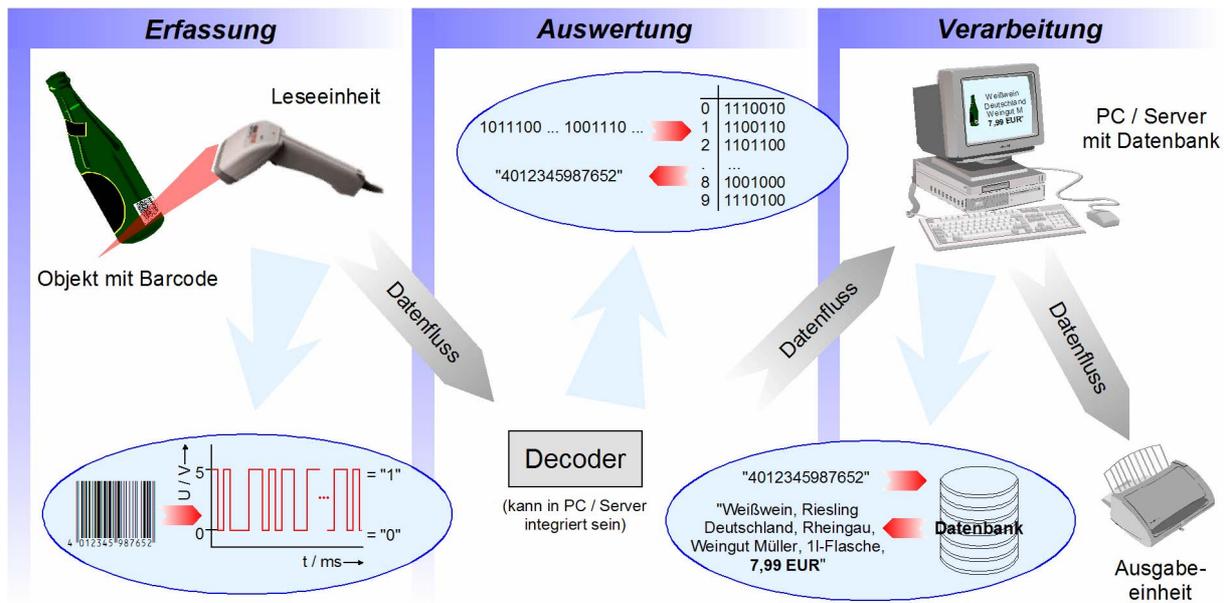
Barcodes dienen im Wesentlichen zur Identifikation von Objekten. Informationen zu diesen Objekten sind oft nur über eine Datenbank zugänglich, deren Einträge die Codes referenzieren. Sollen große Informationsmengen strichcodiert werden, so sind

entweder Barcodes mit einem umfangreichen alphanumerischen Zeichenvorrat und/oder ausreichend große Druckflächen zur Darstellung nötig. Hier stoßen lineare Barcodes (1D-Codes) schnell an ihre Kapazitätsgrenzen, so dass zusätzlich zweidimensionale Codes entwickelt wurden: *Stapel-* und *Matrix-*Codes codieren bis zu einigen tausend Zeichen auf wenigen Quadratzentimetern andere nutzen zusätzlich verschiedene Farben, um umfangreiche Informationen zu verdichten, Bild 5.2.



**Bild 5.2:** Vergleich von 1D- und 2D-Barcodes anhand einer Beispielinformation  
 Inhalt der Beispielinformation: „Universität Duisburg-Essen“

Für das maschinelle Lesen von Barcodes existieren zahlreiche verschiedene optische Techniken, die abhängig von der Praxisanwendung eingesetzt werden. Mobile oder stationäre Systeme wie Lesestifte, Laser-, CCD-Zeilen- und CCD-Matrix-Scanner sind heutzutage technisch derart ausgereift, dass ein schnelles, sicheres und omnidirektionales Auslesen aller gebräuchlichen Barcodes gewährleistet ist. Allen Verfahren gemeinsam ist die Wandlung der an den hellen bzw. dunklen Barcode-Segmenten auftretenden Reflexionen bzw. Absorptionen des abgestrahlten Lichts mittels Fotozellen in elektrische Spannungsschwankungen. Die Aufbereitung und Konvertierung der elektrischen Signale in binäre Zeichen ermöglicht die Decodierung und elektronische Weiterverarbeitung der Informationen, Bild 5.3. Bezüglich einer Erläuterung der Lese- und Decodierverfahren sowie der zugrunde liegenden optischen Effekte wird auf die Literatur verwiesen, da sie wie die Drucktechniken nicht Gegenstand dieser Arbeit sind, z. B. [BUR-90, MES-99, VIR-92].



**Bild 5.3:** Erfassung, Auswertung und Verarbeitung optischer Barcodes

Optische Barcodesysteme sind in nahezu allen Bereichen der Identtechnik etabliert. Gerade die einfache und preiswerte Herstellung codierter Etiketten zeichnet diese Codierform für eine Kennzeichnung von Einzel- und Massenprodukten mit wenigen Informationen aus. Dennoch ist die optische Erfassung codierter Daten in einigen Praxisfällen ungünstig oder ungeeignet, vgl. Kapitel 5.4.1. Für diese Fälle ist eine preiswerte Codierform notwendig, die Standardcodes der optischen Identtechnik nutzen und deren prinzipabhängiges Erfassungssystem an bestehende Auswerte- und Verarbeitungssysteme (Bild 5.3) adaptiert werden kann, Kapitel 5.3.

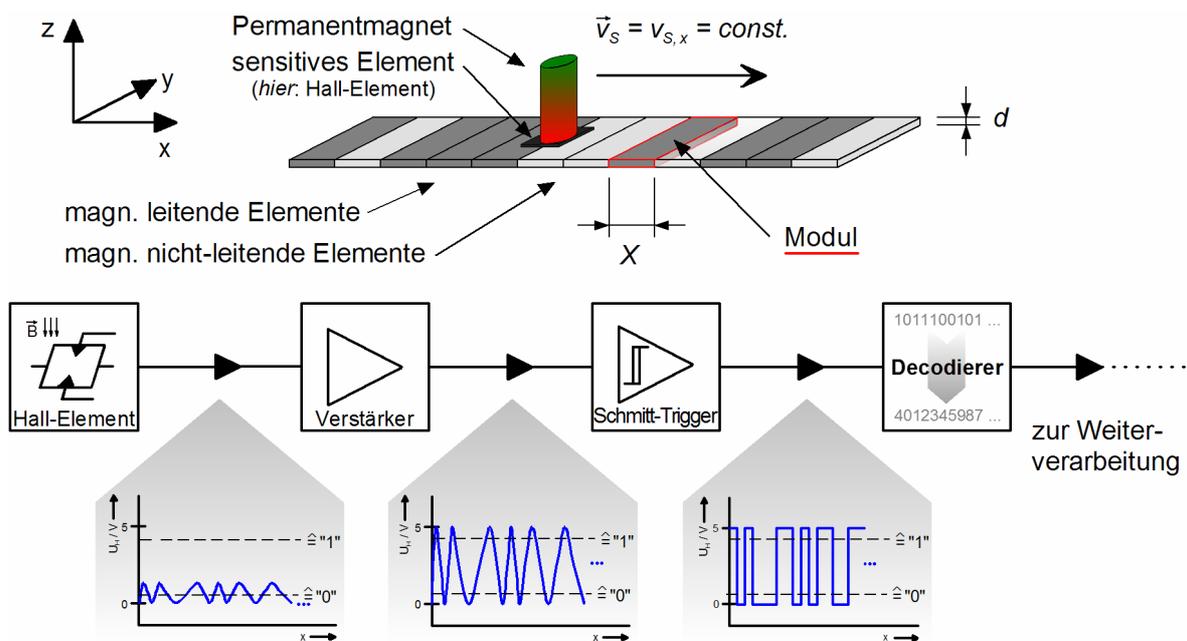
## 5.3 Codes aus magnetisch leitenden Elementen

### 5.3.1 Eindimensionale Codierung

Eine magnetische Codierung auf Basis strukturierter Komponenten galvanomagnetischer Sensorsysteme bietet im Anwendungsfeld der Identtechnik vor allem unter dem Aspekt der Fälschungssicherheit einer Codierung eine Alternative zu den optischen Barcodes. Strukturierte, magnetisch leitende Elemente aus hochpermeablen Materialien, in Anlehnung an optische Barcodes zu Codemustern zusammengesetzt, sind mit vorgespannten galvanomagnetischen Sensorelementen zu erfassen. Die Codemuster bilden als Bezugselement(e) nach Kapitel 2.3.2 mit der Leseeinheit aus Sensorelement und Permanentmagnet das galvanomagnetische Sensorsystem.

Magnetische Codes aus strukturierten Elementen (*M-Codes*; *magnetische Struktur-codes*) sind in verschiedenen Varianten realisierbar. Eine triviale Ausführung stellt die Nachbildung von 1D-Barcodes aus magnetisch leitenden Metallstreifen dar. Dazu eignen sich besonders dünne Bleche oder Folien aus weichmagnetischen Werkstoffen mit einer hohen relativen Permeabilität, d. h.  $\mu_r \gg 1$ . Im Rahmen erster praktischer Versuche wurden so genannte *Hasberg-Streifen* (Material: Kohlenstoffstahl CK 101; Werkstoffnr. 1.1274 nach DIN 17222;  $\mu_{r,max} = 413$ ; vergütet; Dicke  $d = 0,1\text{ mm}$ ) eingesetzt, die eine ausreichende mechanische Festigkeit trotz einfacher chemischer und mechanischer Strukturierbarkeit aufweisen. Im Hinblick auf eine Massenfertigung bietet dieser Federstahl eine hohe Verfügbarkeit bei niedrigem Preis.

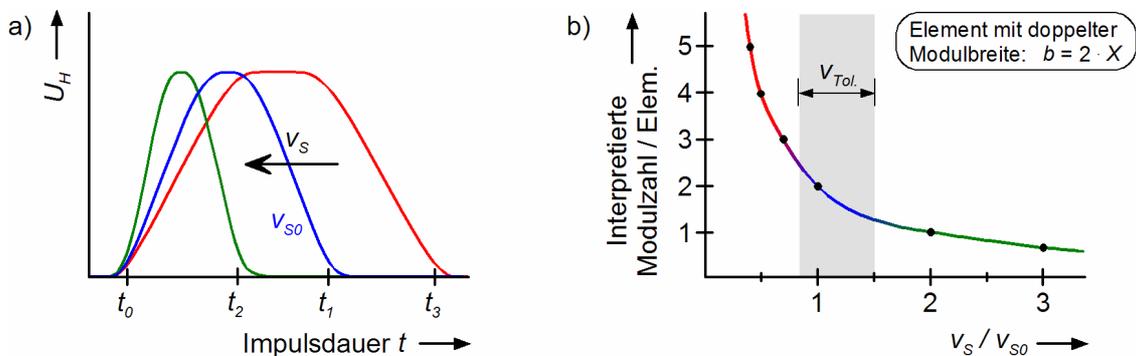
Eindimensionale M-Codes ermöglichen, sofern ein Helligkeitsunterschied zwischen den Oberflächen der Metallstreifen und der Zwischenräume besteht, sowohl eine magnetische als auch eine optische Erfassung. Auf diese Weise ist z. B. eine Kontrolle optisch gelesener Barcodes denkbar. Werden die Codes mit einer dünnen, unmagnetischen Schicht aus nicht-transparentem Material abgedeckt, entsteht ein unsichtbarer, daher nahezu nicht manipulierbarer Code, der beispielsweise Informationen für eine **Elektronische ArtikelSicherung (EAS)** beinhalten könnte; siehe auch Kapitel 5.4.2. Das Ausleseprinzip bei M-Codes verdeutlicht die Darstellung in Bild 5.4.



**Bild 5.4:** Anordnung und Umwandlung eindimensionaler M-Codes  
 $v_s$  – Sensorgeschwindigkeit;  $X$  – Modulbreite;  $d$  – Elementdicke

Ein magnetisch vorgespannter Hall-Sensor wird so über die Streifenanordnung geführt, dass einzelne Metallstreifen positionsabhängig die in der Sensorebene senkrecht stehende Komponente des magnetischen Feldes beeinflussen. Die Folge magnetisch leitender und nicht-leitender Streifen wird so in eine Folge elektrischer Spannungswechsel, deren jeweilige Impulsbreite proportional zur Breite eines Elements und abhängig von der Sensorgeschwindigkeit  $v_S$  ist, gewandelt. Der schmalste Spannungsimpuls kennzeichnet hier die Modulbreite  $X$  des Codes, vgl. Kapitel 5.2.2.

Bei manuell geführten Sensoren ist eine konstante Lesegeschwindigkeit  $v_S = \text{const.}$  nur schwer zu erreichen. Vor allem die Beschleunigungsphase muss vor dem Beginn der Codestruktur beendet sein. Liegt eine variable Geschwindigkeit  $v_S = f(x)$  vor, so variiert bei gleichen Elementbreiten die Dauer der gemessenen Spannungsimpulse, Bild 5.5a. Wird das Toleranzfeld der Sensorgeschwindigkeit  $v_{Tol}$  überschritten, so werden die elektrischen Signale bezüglich der Breite der Metallstreifen falsch interpretiert, Bild 5.5b. Diese Problematik ist von der Erfassung optischer Barcodes mit manuell geführten Lesestiften o. ä. bekannt [VIR-92]. Die Toleranzfeldbreite sinkt mit steigender Anzahl gültiger Elementbreiten eines Mehrbreitencodes.



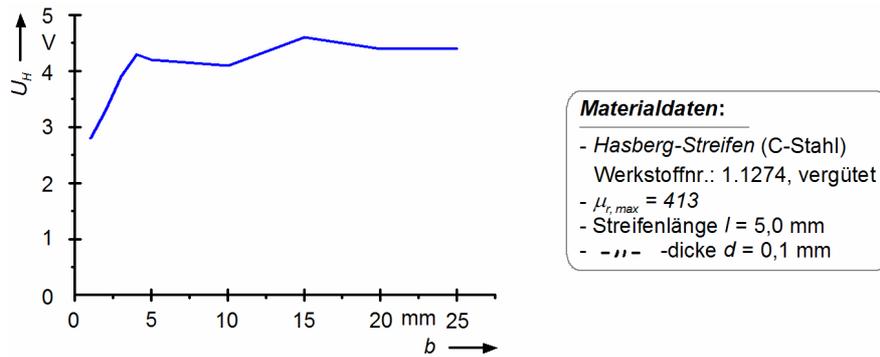
**Bild 5.5:** Einfluss der Sensorgeschwindigkeit  $v_S$  auf das Lesen von M-Codes

a) Impulsdauer  $t$  beim „Lesen“ eines Moduls für verschiedene Sensor-Geschwindigkeiten  $v_S$

b) Geschwindigkeitsabhängige Interpretation der Spannungsimpulse  $U(x)$

$v_{S0}$  – Normalgeschwindigkeit (= Geschwindigkeit bei  $t_0$ );  $v_{Tol}$  – Toleranzfeld für die Sensorgeschwindigkeit  $v_S$

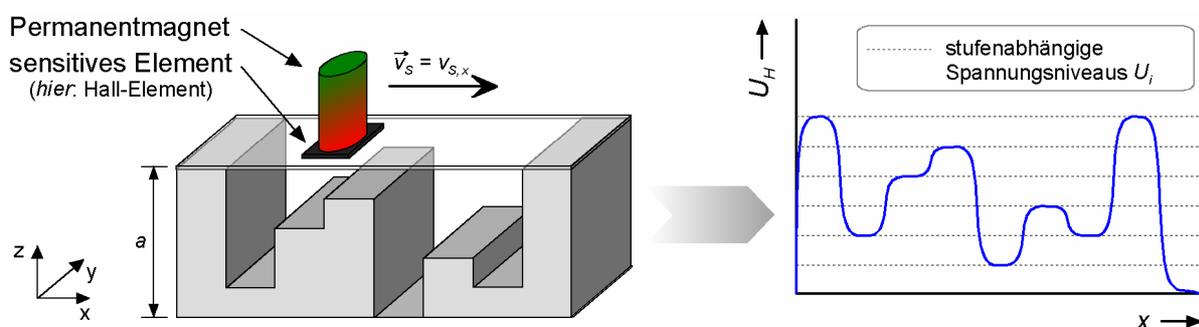
Die Amplituden der Sensorspannungen sind indes kein eindeutiges Indiz für die Breite  $b$  eines Codeelements. Obwohl mit der Breite eines Metallstreifens auch dessen Volumen variiert, kann die Änderung der relevanten magnetischen Feldkomponente  $B_z$  in der Sensorebene (vgl. Kapitel 2.2.2) und damit die Änderung der Sensorspannung  $\Delta U_H$  vernachlässigbar sein, Bild 5.6. Hier sind weitere Untersuchungen bezüglich des Einflusses der Material- und Geometrieigenschaften des verwendeten Permanentmagneten notwendig.



**Bild 5.6:** Einfluss der Elementbreite  $b$  auf die Signalspannung  $U_H$   
 Gemessene Hall-Spannung  $U_H$  verstärkt;  $\mu_{r,max}$  – maximale relative Permeabilität

### 5.3.2 Zweidimensionale Codierung mit strukturierten Elementen

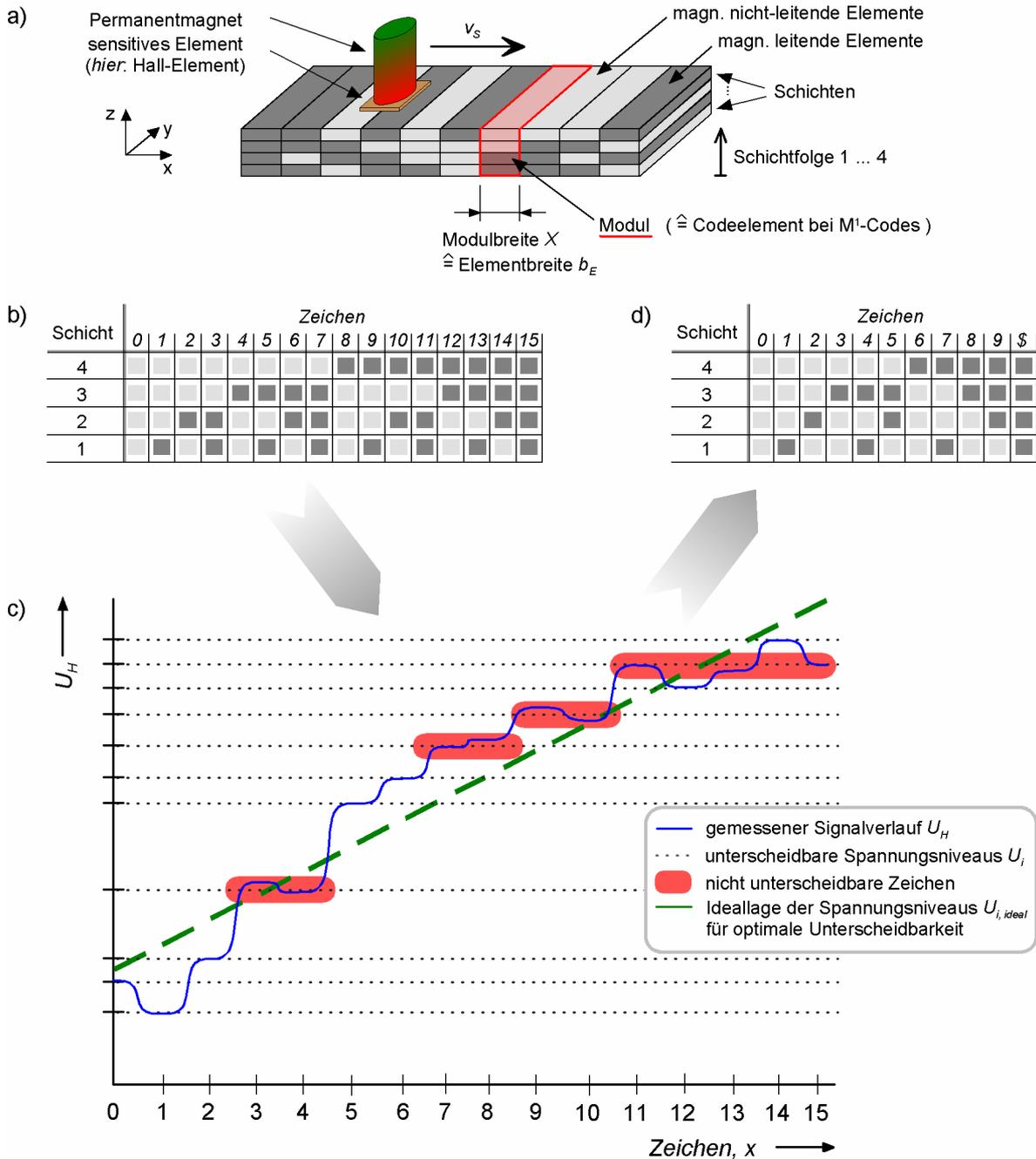
Unter Ausnutzung der Variationsparameter Anordnung, Anzahl und geometrische Gestalt nach Kapitel 2.3.2 für Topologie-Strukturen von Sensorsystem-Komponenten ergeben sich für die Informationscodierung mit magnetisch leitenden Elementen Ansätze zur Bildung komplexer Strukturen, die zu zwei- und mehrdimensionalen Codes führen. Diese ermöglichen eine räumliche Verdichtung der codierten Informationen. Bild 5.7 zeigt einführend für zweidimensionale M-Codes das Beispiel eines Bezugselementes, dessen geometrische Gestalt eine gestufte Oberfläche aufweist. Ein im Abstand  $a$  vom Fußpunkt des Bezugselementes geführter, vorgespannter Sensor wandelt diese Geometriestufung in einen elektrischen Spannungsverlauf  $U_H(x)$  mit unterscheidbaren Niveaus  $U_i$ , die bereits die Codierung definierter Zeichen bzw. diskreter Informationen erlauben. Die Stufung lässt jedoch im Hinblick auf eine möglichst geringe Gesamthöhe des Bezugselementes kaum messtechnisch differenzierbare Spannungsniveaus  $U_i$  zu, so dass nur wenige Zeichen derartig codierbar sind.



**Bild 5.7:** Zweidimensionaler M-Code mit gestuftem Bezugselement

- Gestuftes Bezugselement als strukturierter magnetischer Code
  - Prinzipieller Spannungsverlauf  $U_H(x)$  mit stufenabhängigen Spannungsniveaus  $U_i$
- $a$  – Abstand zwischen Fußpunkt des Bezugselements und Sensorebene;  $v_s$  – Sensorgeschwindigkeit

Eine bedeutende Erweiterung des Zeichenvorrats wird im Vergleich zu gestuften Bezugselementen möglich, wenn Codezeichen aus Schichten einzelner Elemente, deren Anzahl und Anordnung variiert, zusammengesetzt werden. Wie bei der Bildung eindimensionaler M-Codes ermöglichen hier hochpermeable Metallstreifen, jedoch mit festen geometrischen Abmessungen, den einfachen Aufbau eines galvanomagnetisch auswertbaren Codes, Bild 5.8.



**Bild 5.8:** Zweidimensionaler M-Code aus geschichteten Einzelementen

- a) Geschichteter M-Code aus vier Schichten
- b) Beispiel einer Codiervorschrift für einen 4-Schicht-M-Code
- c) Gemessener Spannungsverlauf  $U_H(x)$  für das Codebeispiel nach b)
- d) Reduzierter Code aus b) mit unterscheidbaren Spannungsniveaus  $U_i$  gemäß c)

2D-M-Codes benötigen im Gegensatz zu optischen Barcodes bzw. 1D-M-Codes nur eine konstante Elementbreite  $b_E$ , die der Modulbreite  $X$  entspricht. Die benötigte Schichtanzahl  $Z$  ist prinzipiell von der zu codierenden Zeichenmenge  $N$  abhängig:

$$N = 2^Z. \quad (\text{Gl. 5.1})$$

Gl. 5.1 ist jedoch nur dann zur Berechnung des Zeichenvorrates eines geschichteten M-Codes zulässig, wenn jedes Modul des Codes ein messtechnisch eindeutig unterscheidbares und reproduzierbares elektrisches Spannungsniveau  $U_{ij}$  am Sensorausgang hervorruft, so dass

$$\Delta U_{ij} = U_i - U_j \gg 0 \quad (\text{Gl. 5.2})$$

für alle  $i, j$  mit  $i \neq j$  gilt. Anderenfalls ist eine sichere und eindeutige Interpretation eines Spannungsniveaus als ein Zeichen einer codierten Information nicht zu gewährleisten. In diesem Fall kann nur ein Teil der Module für die Informationscodierung verwendet werden. Die übrigen, nicht oder kaum unterscheidbaren Spannungsniveaus bilden die so genannte *Pseudoinformation*, die zur Fehlerentdeckung bei der Decodierung verwendet werden kann. Als Richtmaß für die Definition einer Codiervorschrift gilt allgemein eine *Hamming-Distanz* von 2, um Fehler auszuschließen bzw. eine Fehlerentdeckung zu ermöglichen. Die Hamming-Distanz definiert die Mindestanzahl der Stellen – bei geschichteten M-Codes sind dies die separierten, magnetisch leitenden und nicht-leitenden Elemente – mit unterschiedlicher Belegung zwischen zwei beliebigen Zeichen eines Codes [JES-00].

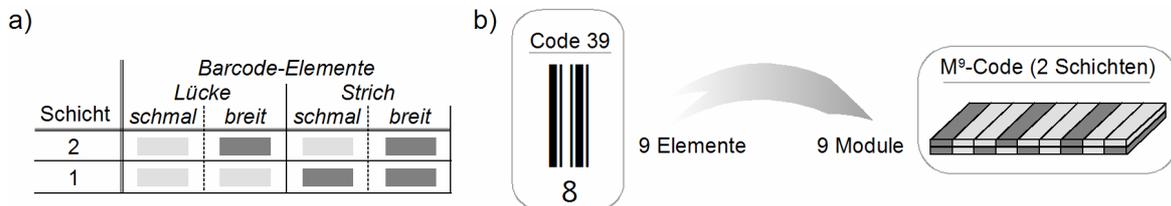
Neben der Codierung eines Zeichens durch ein einzelnes Modul ( $M^1$ -Code) sind Codiervorschriften denkbar, die zur Codierung eines umfangreichen Zeichenvorrats mehrere Module benötigen ( $M^M$ -Codes). Unter der Annahme einer uneindeutigen messtechnischen Unterscheidbarkeit aller Module – Hamming-Distanz = 1 – können maximal

$$N = 2^Z \cdot (2^Z - 1)^{M-1} \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Zeichen aus je  $M$  Modulen mit  $Z$  Schichten gebildet werden.

Die unterschiedlichen Breiten  $B$  eines optischen Mehrbreiten-Barcodes lassen sich hingegen einfach über die Schichtanzahl  $Z$  eines  $M^M$ -Codes adaptieren. Das Beispiel in Bild 5.9 zeigt dies für einen Zweibreiten-Barcode. Für  $Z = B > 2$  übersteigt die

Zahl der adaptierbaren Elementbreiten die Anzahl  $B$ , so dass nur wenige, deutlich unterscheidbare Schichtanordnungen benötigt werden. Dies erhöht die Sicherheit der Codierung, da eine Hamming-Distanz  $> 2$  möglich wird.



**Bild 5.9:** Adaption eines Zweibreiten-Barcodes durch einen 2-Schicht- $M^M$ -Code

a) Beispiel einer Codiervorschrift zur Umsetzung der Elementbreiten

b) Darstellung der Ziffer „8“ im optischen Code 39 und im doppelschichtigen  $M^9$ -Code (Zeichen à 9 Module)

Die in diesem Kapitel vorgestellten Möglichkeiten einer Informationscodierung durch strukturierte, magnetisch leitende Elemente stellen erste Ansätze und Versuche in diesem Bereich dar. Weiterführende Forschungsarbeiten zu diesem Thema, die den Rahmen dieser Arbeit bei weitem übersteigen, sind folglich notwendig, um insbesondere zuverlässige Ergebnisse im Bereich der Materialauswahl, der Herstellverfahren sowie der Konstruktion von Lese- und Auswertesystemen zu erzielen. Erste Ansätze zur Optimierung von magnetischen Strukturcodes liefert aber bereits Kapitel 5.3.3.

### 5.3.3 Ansätze zur Optimierung magnetischer Strukturcodes

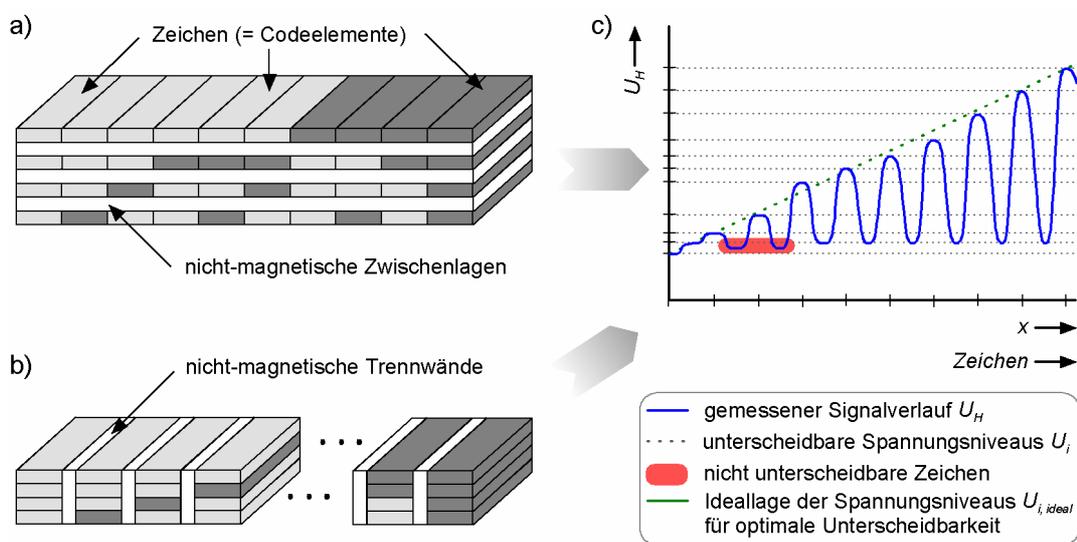
Im Hinblick auf eine Optimierung der in Kapitel 5.3.1 vorgestellten magnetischen Strukturcodierung sind prinzipiell zwei Richtungen zu unterscheiden:

#### (1) Möglichkeiten der Strukturoptimierung

- Die Unterscheidungsfähigkeit einzelner Module lässt sich durch eine räumliche Trennung der magnetisch leitenden Elemente bewirken:
  - a) Nicht-magnetische Zwischenlagen erhöhen den Abstand zwischen dem Sensor und den einzelnen magnetisch leitenden Elementen in den unteren Schichten. Obwohl auf diese Weise keine großen, zusammenhängenden, magnetisch leitfähigen Volumenelemente in den Modulen entstehen – vgl. Darstellungen in Kapitel 2.2.2 zum Einfluss des Volumens magnetisch leitfähiger Elemente auf den Magnetfeldverlauf in der Sensorebene –, ist eine deutlichere Abstufung der Spannungsniveaus  $U_i$  zu

erreichen, die aus der Überlagerung der Einflüsse einzelner, auf unterschiedliche Schichten verteilter, Elemente resultieren, Bild 5.10a.

- b) Nicht-magnetische „Trennwände“ reduzieren erheblich den Einfluss eines Nachbarmoduls auf die durch das aktuell „gelesene“ Modul hervorgerufene Änderung des Magnetfeldes und fördern die Exklusivität des elektrischen Messsignals, Bild 5.10b. Ferner begünstigen sie das Erkennen von aufeinander folgenden gleichen Codeelementen. Ein ideales Geometrie-verhältnis zwischen Modulen und Trennbereichen ist zu bestimmen.



**Bild 5.10:** Optimierung durch nicht-magnetische Bereiche

- a) Nicht-magnetische Zwischenlagen  
 b) Nicht-magnetischer Trennbereiche  
 c) Gemessener Spannungsverlauf  $U_H(x)$  für einen Code nach a) bei Einsatz von nicht-magnetischen Zwischenlagen und Trennwänden

- Eine Verbesserung der Signalexklusivität kann durch Verwendung von Dauermagneten zur Vorspannung des Sensorelements erreicht werden, deren Breite bzw. Durchmesser kleiner als die Modulbreite  $X$  des Codes ist. Gerade unter dem Aspekt einer Miniaturisierung der magnetischen Strukturcodes ist auch der Einsatz flussführender Elemente zu prüfen.
- Die Anzahl  $Z$  nutzbarer Schichten bzw. der Einfluss der mit magnetisch leitenden Elementen besetzten Schichten auf den Magnetfeldverlauf kann durch Verwendung weichmagnetischer Materialien mit unterschiedlichen relativen Permeabilitäten in den einzelnen Schichten gesteigert bzw. gezielt ausgelegt werden, wodurch im Idealfall die Spannungsniveaus auf definierte Werte einstellbar sind.

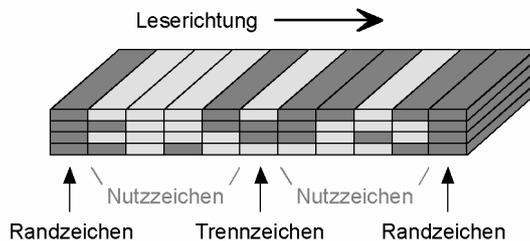
(2) Möglichkeiten der Code-Optimierung

- Eine Verbesserung der Lesbarkeit geschichteter magnetischer Strukturcodes kann wie bei den optischen Barcodes durch Start- und Stoppzeichen erzielt werden: Definierte Modulkombinationen oder die Verwendung von Modulen bzw. Codeelementen, die nicht zur Codierung der Nutzinformation benötigt werden, erlauben dann die Kontrolle auf Vollständigkeit oder ein bidirektionales Lesen der Codes. Ebenso sind Trennzeichen zur Unterscheidung mehrerer Informationen in einem einzigen Codefeld empfehlenswert, Bild 5.11.

a) Codebeispiel für einen  $M^1$ -Code mit Rand- und Trennzeichen

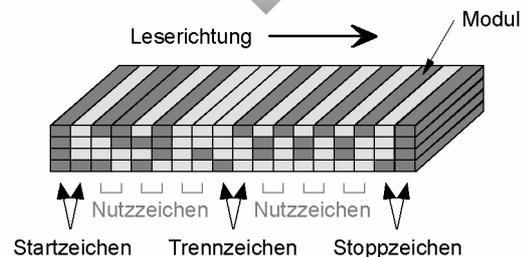
Schicht	Zeichen										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Randz.	Trennz.
4											
3											
2											
1											

Informationen "4017" und "8526"  
mit Rand- und Trennzeichen

b) Codebeispiel für einen  $M^M$ -Code (hier:  $M = 2$ ) mit Start-, Stopp- und Trennzeichen

Schicht	Zeichen						
	0	1	2	3	Start	Stopp	Trenn.
4							
3							
2							
1							

Informationen "230" und "111"  
mit Rand- und Trennzeichen

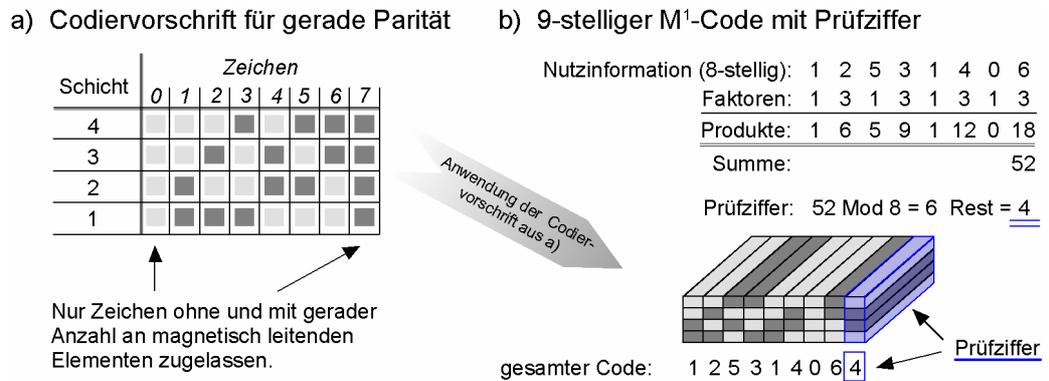
**Bild 5.11:** Sonderzeichen zur Optimierung der Lesbarkeit von M-Codes

a) Beispiel einer Rand- und einer Trennzeichendefinition bei einem  $M^1$ -Code

b) Start-, Stopp- und Trennzeichendefinition am Beispiel eines  $M^2$ -Codes (Zeichen à 2 Module)

- Die Optimierung der Sicherheit von M-Codes ist ebenso wie bei optischen Barcodes auf mindestens zwei Arten vorstellbar:
  - a) Prüfung der Parität eines Codeelements. „Gerade Parität“ bedeutet, dass Codeelemente eine gerade Anzahl magnetisch leitender Schichten besitzen, während ein Codeelement mit „ungerader Parität“ eine ungerade Anzahl magnetischer Segmente aufweist. Somit ist nur eine begrenzte Auswahl an Spannungsniveaus zugelassen, andere detektierte Spannungsniveaus dienen dann als Fehlerindikator, Bild 5.12a. Im Gegensatz zu anderen Codierungen wird kein zusätzliches Paritätsbit benötigt.

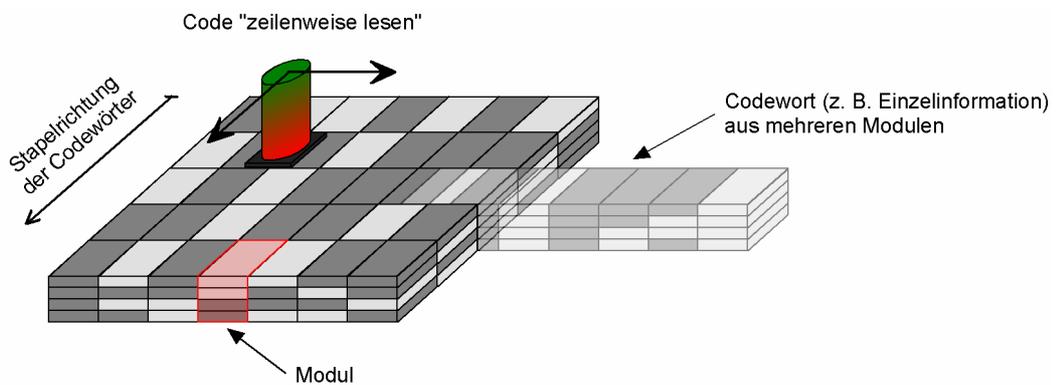
- b) Ausgabe eines Prüfzeichens an einer festgelegten Stelle des M-Codes, Bild 5.12b. Die Berechnungsalgorithmen können z. B. von den optischen Barcodes übernommen werden, vgl. EAN 13 in Kap. 5.2.2, Tabelle 5.1.



**Bild 5.12:** Optimierung der Sicherheit von geschichteten Strukturcodes

- a) M<sup>1</sup>-Code aus Codeelementen mit ausschließlich „gerader“ Parität  
 b) M<sup>1</sup>-Code mit Prüfziffer; Berechnung nach Modulo 8-Algorithmus

- Zur Erhöhung der Informationsdichte ist die Definition von *Code-Quadern*, die eine 3D-Strukturcodierung darstellen, möglich. Eine Anordnung aus quadratischen, geschichteten Modulen auf einer definierten Fläche bildet eine komplexe, codierte Information, Bild 5.13. Eine 3D-Strukturcodierung umfangreicher Informationen ist interessant, wenn der Code für die geschichteten Elemente anstelle eines reinen numerischen Zeichensatzes einen alphanumerischen Zeichensatz mit Sonderzeichen beinhaltet. Zur Codierung eines Zeichensatzes, der aus einem Alphabet lateinischer Groß- und Kleinbuchstaben, zehn Ziffern und einigen Sonderzeichen besteht, sind nach Gl. 5.1 aber wenigstens sieben messtechnisch eindeutig auswertbare Schichten notwendig.



**Bild 5.13:** 3D-Strukturcodierung mit geschichteten Strukturcodes

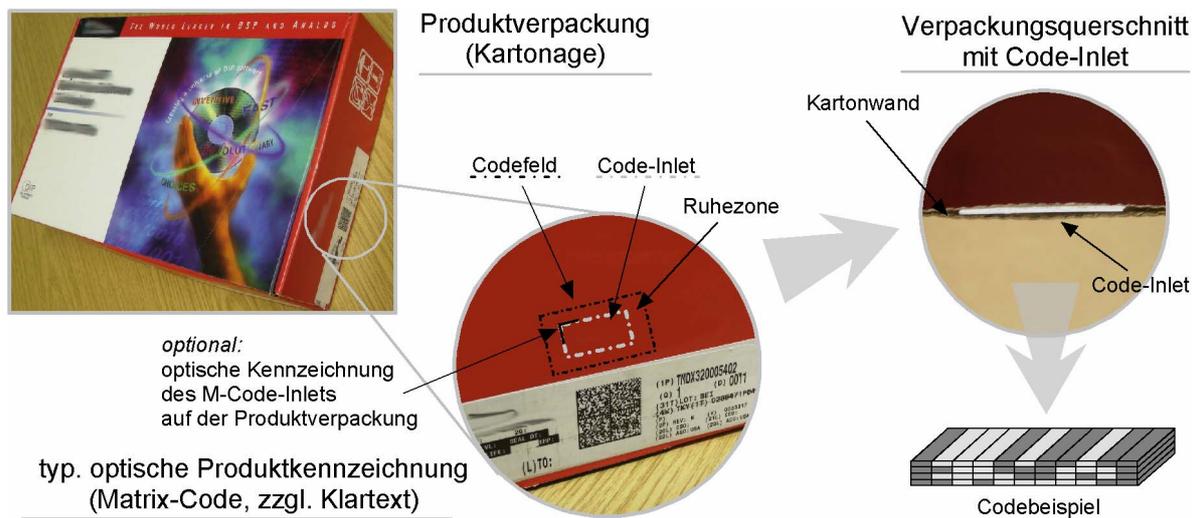
## 5.4 Magnetische Strukturcodes für die Praxis

### 5.4.1 Produktion, Logistik und Handel – Einsatzfelder der Identtechnik

Optische Barcodes sind trotz der flexiblen Einsatzfähigkeit durch zahlreiche Varianten mit unterschiedlichen, im Prinzip frei interpretierbaren Zeichenvorräten unter bestimmten Randbedingungen weniger geeignet oder sogar ungeeignet für Anwendungen der Identtechnik. Umgebungseinflüsse wie Schmutz, raue Witterungsverhältnisse oder mechanische Kontaktierung können die Lesbarkeit optischer Codes beeinträchtigen oder verhindern. Gleichzeitig bietet die sichtbare Darstellung eines Codes Spielraum für gezielte Manipulationen oder Beschädigungen durch Personen bis hin zur vollständigen Entfernung des Trägerelements. Kritische oder sicherheitsrelevante Daten werden daher derzeit bevorzugt elektronisch codiert. Für Identifikationsaufgaben in Produktion, Logistik und besonders im Handel bedeuten diese Codierv Verfahren jedoch eine deutliche Kostensteigerung und verlangen Zusatzelemente, die im Allgemeinen ebenso zu beschädigen oder zu entfernen sind, an den zu kennzeichnenden Objekten (Beispiel RFID-Systeme, Kapitel 5.2.1).

Die magnetische Codierung auf Basis strukturierter, magnetisch leitender Elemente (M-Codes) stellt in den von optischen Barcodes dominierten Anwendungsbereichen der Identtechnik sowohl eine Alternative als auch eine Ergänzungsmöglichkeit dar. M-Codes sind weitgehend unempfindlich gegenüber Umgebungseinflüssen und ermöglichen in einem magnetfeldfreien Bereich eine sichere und nahezu dauerhafte Codierung von Informationen. Die Integration der sehr klein herstellbaren M-Codes in unmagnetische Bereiche von Produktgehäusen, Verpackungen oder Etiketten ermöglicht das unsichtbare Anbringen eines Codes beispielsweise zur Produktidentifikation oder Artikelsicherung. Diese als *Inlets* zu bezeichnenden M-Codes liegen unsichtbar unter der Oberfläche und sind so einem unbefugten Zugriff entzogen. Ein zufälliges oder gezieltes Entfernen oder Zerstören sowie eine Manipulation des Codes ist ohne Beschädigung des Produkts, der Verpackung oder des Etiketts ausgeschlossen. Ermöglicht der Code eine individuelle Identifikation von Produkten, so ist beispielsweise in Warenhäusern jederzeit eine Prüfung möglich, ob eine vermeintlich gekaufte Ware tatsächlich bezahlt wurde. Diese inaktive Form der EAS bietet einen zusätzlichen Schutz neben den bekannten, oft nur deutlich sichtbar anzubringenden RFID-Sicherungsetiketten; „Unsichtbar schützt doppelt“ [SAU-01].

Voraussetzung für das korrekte Lesen von Inlets ist, dass ähnlich wie bei optischen Barcodes eine so genannte Ruhezone existiert, in der sich keine magnetisch leitenden Materialien, die ihrerseits den Verlauf des magnetischen Feldes in der Sensorebene beeinflussen würden, befinden. Unauffällige Markierungen auf der Oberfläche des Trägers erleichtern die Positionierung eines mobilen Lesesystems, Bild 5.14.



**Bild 5.14:** Beispiel eines objektintegrierten M-Codes (Inlet) zur Produktidentifikation

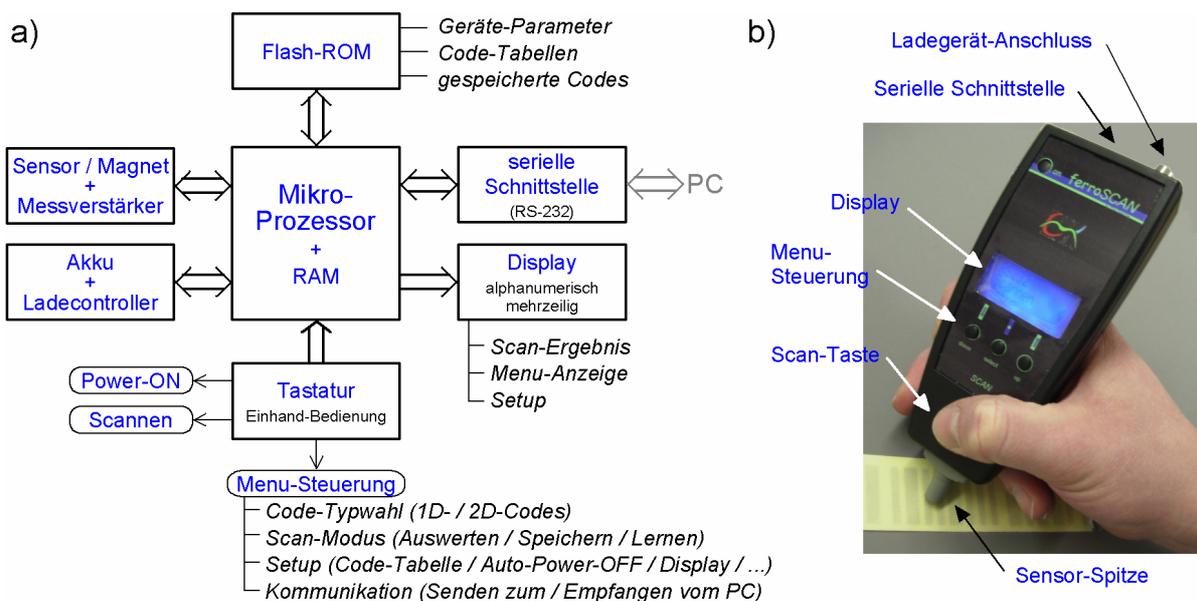
Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für galvanomagnetisch lesbare Code-Inlets bieten Ausweiskarten. Die auf herkömmlichen Magnetstreifenkarten gespeicherten Informationen können unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes leicht beschädigt oder gelöscht werden. M-Codes stellen dagegen eine dauerhafte Codierung dar, die resistent gegen externe Magnetfelder ist. Auch bei Ausweiskarten mit Barcode lohnt sich aufgrund der bereits genannten Nachteile optischer Codes eine Absicherung der Informationen durch zusätzliche Codierung mittels integrierter M-Codes.

Darüber hinaus sind unsichtbare M-Codes zur Codierung geheimer Informationen geeignet. Sofern die Inlets unentdeckt bleiben, ist der Charakter einer verdeckten Kommunikation gegeben. Auch die Entschlüsselung der codierten Information ist nur bei Kenntnis der Codiervorschrift sowie der Materialeigenschaften der verwendeten Metallstreifen möglich. Die Abhängigkeit der Spannungsniveaus am Ausgang der Sensorelektronik und damit die Interpretierbarkeit eines Codes von den Materialeigenschaften der magnetisch leitenden Metallstreifen einerseits und des Permanentmagneten zur Vorspannung des Sensors andererseits macht geschichtete magnetische Strukturcodes ferner weitgehend fälschungssicher.

### 5.4.2 Prototyp eines mobilen Lesesystems

Zur Nutzung der Vorteile einer magnetischen Codierung mit M-Codes in der Identifikation sind der jeweiligen Praxisumgebung angepasste bzw. am Einsatzzweck orientierte Lesesysteme notwendig. Während bei der Personenidentifikation stationäre Geräte zum Lesen der codierten Information an einer definierten Position auf Ausweiskarten vorteilhaft sind, ist für die Produktidentifikation in Handel und Logistik der Einsatz mobiler, personengesteuerter Geräte aufgrund der freien und variablen Code-Positionierung sinnvoll. Für erste Tests im Rahmen dieser Arbeit wurde ein mobiles Lesesystem mit wenigen Grund- und Zusatzfunktionen entwickelt, Bild 5.15a.

Neben der Erfassung und Auswertung von M-Codes unter Verwendung gespeicherter Codiervorschriften für ein- und zweidimensionale Codes nach Kapitel 5.3.1 ist ein Lernmodus für codierte Zeichensätze empfehlenswert. Im Lernmodus findet die Zuordnung eines Zeichens bzw. einer Information zu einem Spannungsniveau  $U_i$  am Ausgang der dem Sensorelement nachgeschalteten elektronischen Signalaufbereitung statt. Das Gerät kann so zum Lesen verschiedener Codes verwendet werden. Ein Datenspeicher für decodierte Informationen sowie eine Schnittstelle zu einer Datenverarbeitungseinheit (PC – Personal Computer) gestatten eine komfortable Nutzung. Der Prototyp „FerroScan“ eines solchen mobilen Lesesystems ist abschließend in Bild 5.15b dargestellt; nähere Informationen zur Realisierung gibt [SON-01].



**Bild 5.15:** Mobiles, handgeführtes Lesesystem für magnetische Strukturcodes

- a) Gerätekonzept und Funktionsüberblick  
 b) Prototyp „FerroScan“ mit großem Versuchs-Codemuster