

## Erkennung mittels Iris-Scan

### 1. Einleitung

Die Eignung der Iriserkennung als biometrisches System liegt in der Einzigartigkeit jeder Iris. Neben der extremen Zuverlässigkeit beim Erkennen von Personen (auf Grund der Einzigartigkeit), eignet sich die Iriserkennung vor allem deshalb, weil die Iris ein stabiles Merkmal ist. Falls keine mechanischen Schäden auftreten, bleiben die Muster ein Leben lang erhalten. Selbst Bilder von Iriden, die im Abstand von 25 Jahren aufgenommen wurden, werden als gleich erkannt. Dies liegt daran, weil sie als inneres Organ unter der Hornhaut des Auges liegt und zusätzlich noch durch die Augenlider geschützt wird. [6]

Die Entwicklung der Iris setzt im 3. Schwangerschaftsmonat ein und ist bis zum 8. Monat abgeschlossen. Nach der Geburt kann sich in den ersten Jahren noch die Augenfarbe durch eine Änderung der Pigmentation verändern. Dies stellt für die Technik der Iriserkennung aber kaum ein Hindernis dar, da Graustufenbilder verwendet werden und schwache farblich Änderungen nicht ins Gewicht fallen. Die Pigmentation ist genetisch bedingt, das Muster jedoch bildet sich zufällig. Dadurch lassen sich selbst genetisch identische Augen unterscheiden. Zu den Merkmalen eines Irismusters zählen neben vielen anderen, feine Erhöhungen, Furchen, feine Ringe, Flecken und die Corona. [1]

### 2. Algorithmus von Daugman

1993 entwickelte John Daugman seinen Algorithmus zur Erkennung der Iris [1]. Dieser wird noch heute in vielen Systemen eingesetzt oder dient als Basis für Weiterentwicklungen. Der Algorithmus läuft folgendermaßen ab:

- Aufnahme eines Bildes des Auges
- Isolation der Iris vom Restbild
- Umwandlung des Musters in ein digitales Format (2048 Bits)
- bitweiser Vergleich der aufgenommenen Iris mit den schon vorhandenen oder gespeicherten Iriden.

#### 2.1. Auffinden einer Iris im Bild

Es gibt zwei unterschiedliche Verfahren (für öffentliche und private Anwendungen) um die Irisaufnahme zu machen. Das öffentliche System besteht i.d.R. aus Kameras mit großer Linsenfläche bzw. Weitwinkelkameras. Diese machen die Totalaufnahme des Gesichtes, mit der das System die Position der Augenpartie im Gesicht ermittelt. An Hand der ermittelten Augenposition wird ein Spiegel ausgerichtet, über den eine zusätzliche Kamera ein hochaufgelöstes Bild der Augen aufnimmt. [3]

Das Verfahren für die private Verwendung besteht aus nur einer Kamera, ähnlich einer Webcam. Der

Benutzer bringt sein Auge nahe an die Kamera, die dann die Aufnahme macht. Um eine gute Aufnahme zu erhalten sind optische Hinweise in der Kamera integriert, die dem Benutzer eine gute Ausrichtung der Augen ermöglichen. [3]

Man erhält dadurch eine Irisaufnahme, die im Durchschnitt einen Irisradius von 100-140 Pixel enthält. Zusätzlich wird das Auge bei der Aufnahme noch mit Licht nahe dem Infrarotbereich beleuchtet, um auch sehr dunkle Muster in der Iris erkennen zu können und Störungen durch Lichtreflexionen abzuschwächen. [1]

Um nun die Iris vom Rest des Bildes zu extrahieren, wird zunächst mittels folgenden Operators der innere und äußere Rand der Iris bestimmt [1]:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

wobei  $I(x, y)$  das ursprünglich aufgenommene Bild der Iris ist. Das Kreisintegral berechnet dabei für jeden Mittelpunkt  $(x_0, y_0)$  den Mittelwert der Bildpunkte, die auf dem von Radius  $r$  erzeugten Kreis liegen, wobei  $r$  schrittweise erhöht wird. Diese Mittelwerte werden anschließend partiell nach  $r$  abgeleitet und mit einem Gaußfilter  $G$  [7] geglättet. Angenommen  $x_0$  und  $y_0$  lägen genau in der Pupillenmitte, so würde man für Kreislinien, die sich bis zur Pupillengrenze ausdehnen, Mittelwerte von etwa 0 erhalten. Für den ersten Kreis, dessen Kreislinie auf die Iris fällt, würde ein höherer Mittelwert berechnet werden, da die Iris hellere Farbwerte hat. Betrachtet man die Mittelwerte bei zunehmendem Radius als Graph, so ist der Übergang zwischen Pupille und Iris als starker Anstieg der Funktion zu erkennen (vgl. Abb. 1). Der Punkt  $(x_0, y_0)$ , für den dieser Übergang am stärksten ist (erkenntlich durch die Ableitung nach  $r$ ), wird als Mittelpunkt bestimmt.

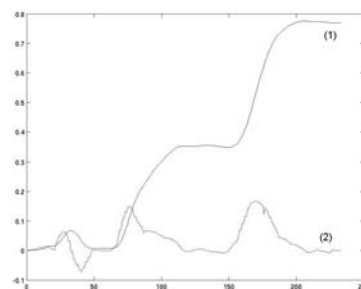


Abb. 1: Graph der Mittelwerte (1); Ableitung der Mittelwerte (2)

Dieser Operator muss für den Übergang zwischen Pupille und Iris und für den Übergang zwischen Iris und Sclera (weiße Augenpartie, siehe Abb. 2) separat benutzt werden, da die Pupille nicht exakt mitten in der Iris liegt. [1]

Anschließend können in einem weiteren Verfahren [8] die Ränder der Augenlider bestimmt werden und man erhält die isolierte Iris (Abb. 2).

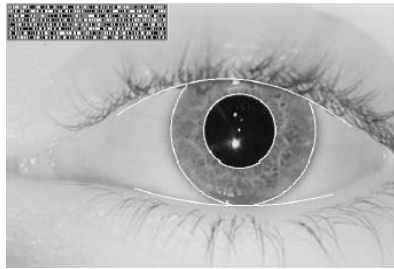


Abb. 2: Isolierte Iris mit Iriscode [1]

## 2.2. Codierung mittels 2D Gabor Wavelet Demodulation

Für die weitere Verarbeitung wird die Iris in Polarkoordinaten umgerechnet. Dies geschieht mit folgenden Gleichungen [1]:

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta)$$

$$x(r, \theta) = (1 - r)x_p(\theta) + rx_s(\theta)$$

$$y(r, \theta) = (1 - r)y_p(\theta) + ry_s(\theta)$$

$x_p$ : Kreispunkte auf Pupillenrand  
 $x_s$ : Kreispunkte auf Irisrand

Je nachdem welche Auflösung man haben möchte, muss man den Winkel  $\theta$ , um den jeweils weitergedreht werden soll, und den Radius  $r$  bestimmen. Da die Pupille nicht exakt in der Mitte der Iris liegt, muss der Radius als Intervall zwischen den Übergängen betrachtet werden. Die Schnittpunkte zwischen Radius und Winkellinie werden als Punkte in die Polardarstellung übernommen (siehe Abb. 3, rechts).

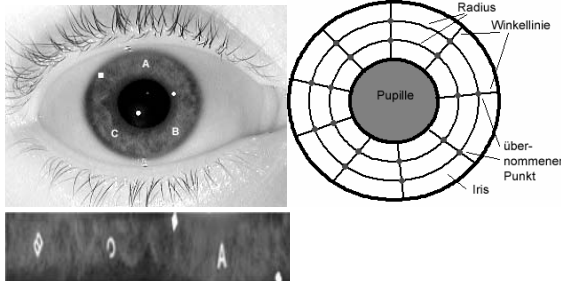


Abb. 3: normales Irisbild (links oben); Polardarstellung (links unten), (erzeugt mit Programm aus [9]); Skizze der Umrechnung in Polardarstellung (rechts)

Um nun einen Code zu generieren, an Hand dessen man Iriden miteinander vergleichen kann, wird jedes der vorverarbeiteten Iridenmuster mit einem 2D Gabor Wavelet gefaltet und das Vorzeichen des komplexen Ergebnisses betrachtet [1, 7]:

$$h_{\{Re, Im\}} = \text{sgn}\{Re, Im\} \int_{\rho} \int_{\phi} I(\rho, \phi) e^{-i\omega(\theta_0 - \phi)} \cdot e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho d\rho d\phi$$

$h_{\{Re, Im\}}$  kann dabei als komplexwertiges Bit betrachtet werden. Weiterhin ist  $I(\rho, \theta)$  die Abbildung der Iris in Polarkoordinaten (vgl. Abb. 3, links unten).  $\alpha$  und  $\beta$  sind Parameter, die die Größe des Wavelets bestimmen und  $\omega$  ist die Frequenz. Das hier verwendete Gabor Wavelet kann man sich als vertikalen Kantendetektor (vgl. Abb. 6a)) vorstellen.

Die Kontraste im Bild können als Linearkombination von Sinus- und Cosinusschwingungen angesehen werden. Die Verschiebung dieser Schwingung kann durch die Phasenverschiebung (die Veränderung des Arguments der Schwingung) beschrieben werden. Dieses Argument (die Phase) kann mit dem oben beschriebenen Gaborfilter für einen bestimmten Frequenzbereich berechnet werden [7, 8].

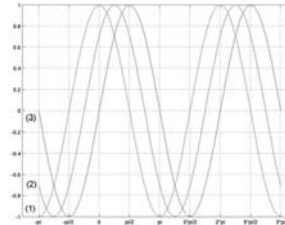


Abb. 4: Phasenverschiebung:  
 (1)  $\cos(x)$   
 (2)  $\cos(x-3/4\pi)$   
 (3)  $\cos(x-1/2\pi)$

Allgemein:  
 $\cos(x-\alpha)$ ;  $\alpha$ =Phase

In Abb. 5 ist zu sehen, wie der Realteil des Wavelets über das polare Irisbild geschoben wird. Daraus ist ebenfalls ersichtlich, dass das Wavelet nur Kontraste in radialer, nicht aber in zirkulärer Richtung erkennen kann. Die Phase wird dem Quadrant entsprechend codiert, in dem der detektierte Phasenwinkel zu liegen kommt (Abb. 6b)).

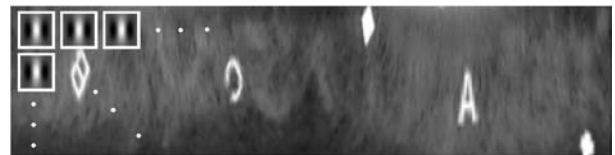


Abb. 5: Realteil des Gaborfilters angewendet auf Polarbild der Iris

Nachdem das Wavelet auf das polare Irisbild angewendet wurde, erhält man 2048 Bits (256 Byte). Zusätzlich zu diesen Bits werden noch 2048 Maskenbits mit abgespeichert, die angeben, ob die betreffende Position durch Artefakte beeinträchtigt wurde (z.B. Wimpern oder Reflexionen). Insgesamt erhält man also 512 Byte Iriscode. [1]

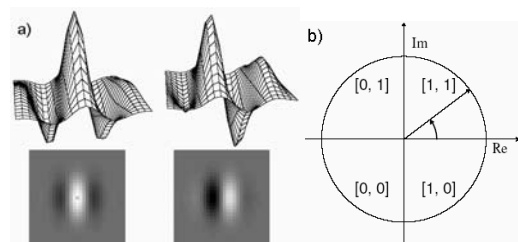


Abb. 6: a) Realteil (links) und Imaginärteil (rechts) des Wavelets; b) Aufteilung der Phase in Quadranten mit zugehörigem Code [1]

## 2.3. Muster- /Iriscodevergleich

Da die einzelnen Bits zweier Iriden mit je 50% Wahrscheinlichkeit übereinstimmen, stimmt etwa die Hälfte aller Vergleichsbitpaare zweier unterschiedlicher Iriscodes überein. Bei zwei identischen Iriden ist es viel wahrscheinlicher, dass die Bits übereinstimmen, da es sich ja um dieselben Muster handelt. Die Wahrscheinlichkeit für eine komplette Übereinstimmung der Iriscodes liegt hierbei idealerweise bei 100%, jedoch beeinträchtigen Rauschen, Verdickungen und Reflexionen den Vergleich.

Als Maß für die Ähnlichkeit zweier Iridcodes wird bei Daugman die normierte Hammingdistanz (HD) benutzt [1]:

$$HD = \frac{\| (codeA \otimes codeB) \cap maskA \cap maskB \|}{\| maskA \cap maskB \|}$$

Hierbei sind *codeA* und *codeB* die Codes der zu vergleichenden Iriden; *maskA* und *maskB* sind die Masken, die angeben welche Bereiche der Iriden nicht verdeckt sind oder als Artefakte unberücksichtigt bleiben sollen. Die XOR Funktion bestimmt, ob die Vergleichsbitpaare gleich oder ungleich sind, wobei sie bei Nichtübereinstimmung eine 1 liefert. Der Schnitt mit den Masken im Zähler beschränkt den Vergleichsbereich auf die Bereiche, die in beiden Iriden nicht beeinträchtigt sind und der Schnitt im Nenner dient zur Normierung. Die 1en (ermittelt durch die XOR Funktion) werden zusammengezählt, durch die Anzahl zu vergleichender Bits geteilt und somit ein Maß für die Ähnlichkeit bestimmt.

Eine HD von 0 beschreibt dabei ein absolut perfektes Match zweier identischer Iriden, zwei zufällige Muster haben eine HD von ca. 0.5 und ein Vergleich zweier komplett verschiedener Iriden würde eine HD von 1 liefern. [1]

### 3. Erkennung der Iris, unabhängig von ihrer Größe, Position und Orientierung

Das Aussehen und die Aufnahme der Iris sind mit vielen Faktoren verbunden, die Einfluss auf folgende Aspekte haben:

- Optische Größe der Iris auf dem Bild (abhängig von der Kameraeinstellung und der Entfernung zur Kamera)
- Größe der Pupille im Auge (abhängig von der Beleuchtung)
- Position der Iris auf dem Bild
- Ausrichtung der Iris (abhängig von der Kopf- und Körperhaltung)

Dies stellt ein Problem für einen funktionierenden Algorithmus dar, da dieser möglichst konstante Aufnahmebedingungen für den Vergleich benötigt. Deshalb dürfen die obigen Punkte keinen Einfluss auf den Algorithmus haben.

Die Größe der Pupille spielt dabei keine Rolle, da sie bei einer Vergrößerung die Iris nicht überdeckt, sondern die Iris sich zusammenzieht und somit ihr Muster erhalten bleibt. Die Größe der Iris auf dem Bild ist ebenfalls nicht von Bedeutung, da, wie bereits oben erwähnt, die Iris in einem Polarkoordinatensystem dargestellt wird. Wird z.B. die Skizze aus Abb. 3 (rechts) vergrößert, so wird auch das „Gitter“ von Radius und Winkellinie dementsprechend vergrößert und die Schnittpunkte bleiben die gleichen. D.h. egal, ob das Iridmuster im Bild klein oder groß ist, das relative Muster in Polardarstellung bleibt gleich.

Die Rotation des Auges wird dadurch korrigiert, dass die Pixelzeilen des Iridbildes in Polarkoordinaten jeweils um einige Pixel „geschifft“ werden. Eine Ver-

schiebung um K Pixel entspricht dabei einer Drehung um  $K \cdot 360^\circ/M$ , wobei M die Anzahl an Pixelspalten in der Polardarstellung ist. Je rotiertem Bild wird der Code berechnet und dasjenige Bild im Weiteren verwendet, das die beste Distanz zu den anderen Codes besitzt. (Laut Daugman reichen i.d.R. bereits 7 Verschiebungen aus). [1]

### 4. Theoretische Wahrscheinlichkeiten

Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Vergleichsbits zweier verschiedener Iriden gleich ist, liegt bei 50%. Die Wahrscheinlichkeit, dass viele der Bits zufällig übereinstimmen entspricht dem Szenario entsprechend vieler Münzwürfe, die immer Kopf ergeben. Solch eine Verteilung entspricht einer Bernoulliverteilung [1]:

$$f(x) = \frac{N!}{m!(N-m)!} p^m (1-p)^{(N-m)}$$

wobei N die Anzahl an Würfeln ist,  $p = 0.5$ , m Anzahl der Kopfwürfe in N Würfeln ist und  $x = m/N$ . [5]

Die Verteilung der beobachteten Hammingdistanzen bei Daugman entspricht einer Binomialverteilung mit 244 Freiheitsgraden, oder 244 Münzwürfen mit einer idealen Münze. Daraus und aus der typischen Größe einer Iris lässt sich der Informationsgehalt von 3.2 Bits/mm<sup>2</sup> berechnen [1].

Mittels der Verteilung, die Daugman für Vergleiche verschiedener Iriden herausgefunden hat, lässt sich die Wahrscheinlichkeit für niedrige HDs bei verschiedenen Iriden. Die Chance, dass zwei verschiedene Iriden zufällig in mehr als 75% übereinstimmen, liegt beispielsweise bei  $10^{-14}$  (vgl. Abb. 8). [5]

Die Frage, die sich nun stellt ist, ob und wie zuverlässig die Iriserkennung in großen Datenbanken einsetzbar ist. Dazu wird auf der Basis von praktisch ermittelten Werten das theoretische Fehlverhalten in großen Datenbanken analysiert.

Wenn  $p_1$  die Wahrscheinlichkeit für eine falsche Verifikation ist, so ist  $p_N = 1 - (1 - p_1)^N$

die Wahrscheinlichkeit für eine falsche Identifizierung in einer Datenbank mit N Einträgen.

Auch wenn  $p_1$  sehr klein ist, so steigt doch  $p_N$  bei großen N an und es wird immer wahrscheinlicher, dass ein Muster falsch identifiziert wird.

HD Criterion	Odds of False Match
0.26	1 in $10^{13}$
0.27	1 in $10^{12}$
0.28	1 in 84 billion
0.29	1 in 8.6 billion
0.30	1 in 1 billion
0.31	1 in 127 million
0.32	1 in 18 million
0.33	1 in 2.9 million
0.34	1 in 527,000
0.35	1 in 105,000

Abb. 7: Wahrscheinlichkeit für eine falsche Identifizierung für feste HDs und  $p_N < 10^{-6}$  konstant [1]

Deshalb kann man, je nachdem wie groß die Datenbank sein soll, die Schwelle für die HD adaptieren (Abb. 7) um so  $p_N < 10^{-6}$  konstant zu halten. [1]

## 5. Entscheidungsumgebung

Das entscheidende Kriterium für die Iriserkennung und Identifikation ist die Bestimmung der Schwelle für die HDs. Die Entscheidung, ob es sich um zwei identische oder zwei verschiedene Iriden handelt wird dadurch getroffen, dass die ermittelte HD unterhalb oder oberhalb der Schwelle liegt.

Man erhält zwei Verteilungen, je eine für den Vergleich von identischen und eine von verschiedenen Iriden (vgl. Abb. 8). Der Schnittpunkt dieser beiden Verteilungen kann als Schwelle festgesetzt werden, da in diesem Punkt die *False Accept Rate (FAR)* gleich der *False Reject Rate (FRR)* ist. Diese Schwelle kann aber beliebig angepasst werden. Setzt man sie herab, wird das System sicherer und lässt weniger *Imposters* ein, setzt man sie hingegen herauf, so wird ein Zurückweisen einer autorisierten Person zwar unwahrscheinlich, aber es werden auch mehr *Imposter* eingelassen.

Wie aus Abb. 8 ersichtlich ist, überschneiden sich die beiden Verteilungen hier nicht, was bedeutet, dass man dazwischen eine eindeutige Schwelle setzen kann, die immer eine korrekte Entscheidung über gleich oder ungleich zulässt. Deshalb schlägt Daugman eine Grenze von 0.33 vor, wobei diese für sehr große Datenbanken nach unten adaptiert werden kann. [1]

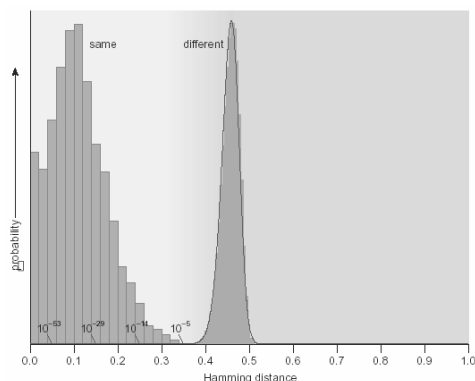


Abb. 8: Verteilung für den Vergleich zweier gleicher (links) und verschiedener (rechts) Irismuster bei schlechten Aufnahmebedingungen (z.B. schlechte Belichtung); Wahrscheinlichkeiten, dass die HD zweier verschiedener Irismuster in die Verteilung für gleich fällt (links unten). [5]

In den Laborversuchen von Daugman und auch in Versuchen, in denen das Verfahren von Daugman als Basis verwendet wird, wurden identische Iriden immer korrekt erkannt und kein einziges Mal verschiedene Iriden als gleich erkannt, d.h. die *FAR* und die *FRR* lagen immer bei 0.

Die zu wählende Schwelle ist natürlich stets abhängig davon, wie gut das Aufnahmesystem ist bzw. wie gut die Aufnahme der Iris funktioniert. Die Verteilung der gleichen Iriden (*same*-Verteilung aus Abb. 8) verschiebt sich bei guten Aufnahmen in Richtung 0 (HD-Achse), weil die Irisaufnahmen kaum negativ beeinträchtigt werden. Hingegen bei sehr schlechten Aufnahmen verschiebt sie sich nach rechts und kann sich mit der Verteilung für verschiedene Iriden (*different*-Verteilung aus Abb. 8) überschneiden, da die

Irisaufnahmen durch die schlechten Bedingungen erheblich beeinträchtigt werden. Die Verteilung für verschiedene Iriden verändert sich allerdings sowohl bei Rauschen als auch bei schlechten Aufnahmebedingungen nicht, da die Übereinstimmung der Vergleichsbitpaare zufällig verteilt ist und die Störungen ebenfalls zufällig sind. [5]

## 6. Performanz

Für die Iriserkennung spricht, dass die Abarbeitung des Algorithmus und die Vorverarbeitung des Bildes extrem wenig Zeit in Anspruch nehmen. Der gesamte Vorgang ist innerhalb einer Sekunde abgeschlossen.

Die Suchengine kann 100000 Iriscodervergleiche pro Sekunde durchführen, da sich die XOR und die AND Funktionen hardwarenahe realisieren lassen. Für sehr große Datenbanken bietet sich an, die Datensätze zu Teilen von 100000 Stück zu zerlegen und diese parallel zu durchsuchen. [1]

## 7. Täuschungsmöglichkeiten

Die Sicherheit der Iriserkennung hängt hauptsächlich davon ab, wie viel Geld man in das System steckt und welche Sicherheitsanforderungen man stellt. Einfachste System lassen sich bereits durch ein normales Foto einer Iris überlisten. Bemalte Glasaugen oder bedruckte Kontaktlinsen können Systeme ohne Lebenderkennung überlisten. Augenoperationen, wie in manchen Filmen gezeigt, sind kaum möglich, da die Irismuster zu fein sind und es eher zu Schädigungen des Auges führt. Mit den Augen eines Toten kann man das System ebenfalls nicht täuschen, da diese sehr trüb werden und sich die Pupille auf über 80% des normalen Irisbereichs ausdehnt. [1]

## 8. Literatur

- [1] John Daugman: "How Iris Recognition Works"  
<http://www.cl.cam.ac.uk/users/jgd1000/irisrecog.pdf>  
(Lesedatum: 26.11.2003)
- [2] S. Lim, K. Lee, O. Byeon, T. Kim: "Efficient Iris Recognition through Improvement of Feature Vector and Classifier";  
[http://ni.cs.tu-berlin.de/~schoener/sem-biometry/lim01\\_iris\\_recognition.pdf](http://ni.cs.tu-berlin.de/~schoener/sem-biometry/lim01_iris_recognition.pdf)  
(Lesedatum: 26.11.2003)
- [3] M. Negin, et al.: "An Iris Biometric System for Public and Personal Use";  
<http://www.cis.upenn.edu/~venetian/DOC/ieeecomputer2000.pdf>  
(Lesedatum: 26.11.2003)
- [4] C. Könnecke, D. Blossey, F. Gelies: "Iriserkennung";  
[http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/iti\\_ams/lehre/02\\_SoSem/mmsec/iris\\_erkennung/](http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/iti_ams/lehre/02_SoSem/mmsec/iris_erkennung/)  
(Lesedatum: 26.11.2003)
- [5] John Daugman: "Iris Recognition"; American Scientist, Volume 89;  
[http://www.securimetrics.com/articles/gfx/Iris\\_PDF\\_file.pdf](http://www.securimetrics.com/articles/gfx/Iris_PDF_file.pdf)  
(Lesedatum: 26.11.2003)
- [6] A. Galkin: Iriserkennung;  
[http://ni.cs.tu-berlin.de/lehre/sem-biometrie/Galkin\\_Iris.pdf](http://ni.cs.tu-berlin.de/lehre/sem-biometrie/Galkin_Iris.pdf)  
(Lesedatum: 26.11.2003)
- [7] "Skript: Computer Vision 1"  
<http://www.informatik.uni-ulm.de/ni/Lehre/SS03/CV1/>
- [8] R. P. Wildes: "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology";  
<http://www.cs.yorku.ca/~wildes/wildesPIEEE1997.pdf>  
(Lesedatum: 3.12.2003)
- [9] Markus Zehender: "Implementierung und Evaluation eines biometrischen Systems zur Iriserkennung"; Diplomarbeit, Universität Ulm, Abt. Neuroinformatik