

WHITEPAPER

# WDR-Lösungen mit forensischem Wert

März 2026

# Zusammenfassung

Szenen, die gleichzeitig sehr dunkle und sehr helle Bereiche enthalten, sind für die meisten Kameras problematisch. Typische Beispiele für solche Szenen mit großem Dynamikbereich (Wide Dynamic Range, WDR) sind Eingangstüren, Parkhäuser und Tunnels mit einem starken Kontrast zwischen dem Licht von außen und dem dunklen Innenraum. Ebenfalls schwierig sind Außenszenen bei direktem Sonnenlicht mit Schatten.

Deshalb hat man verschiedene Methoden entwickelt, um die Wiedergabe der Szene durch die Kamera zu verbessern. Es gibt keine einzelne Technik, die für alle Szenen und Situationen ideal wäre. Jede Methode hat ihre Nachteile, wie beispielsweise visuelle Anomalien, so genannte Artefakte.

Axis hat verschiedene WDR-Lösungen im Angebot, darunter zwei forensische Lösungen, die eine revolutionär verbesserte Bildbearbeitung bei schwierigen Szenen mit hohem Kontrast ermöglichen. Ihre Fähigkeit, Details in den dunklen Teilen einer Szene ohne Überbelichtung der hellen Teile sichtbar zu machen, ist unerreicht und ergibt Bilder von außergewöhnlichem forensischem Wert.

Zu den WDR-Lösungen von Axis gehören Forensic WDR, WDR Forensic Capture, WDR Dynamic Capture und WDR Dynamic Contrast. Die meisten Axis-Kameras verwenden Forensic WDR, ein auf doppelter Belichtung basierendes Verfahren. Wenn diese Funktion ausgeschaltet ist, schalten die Kameras automatisch auf WDR mit dynamischem Kontrast um.

Manche Axis Kameras nutzen eine spezielle Kombination dieser verschiedenen Verfahren, um den Dynamikbereich zu vergrößern. Bei diesen Kameras wird die WDR-Lösung für jede Kamera maßgeschneidert und in den technischen Daten und anderen Produktinformationen als „WDR“ bezeichnet.

Der Dynamikbereich einer Kamera wird in der Regel in dB angegeben, doch die tatsächliche WDR-Leistung lässt sich nur schwer messen, da sie auch von anderen Faktoren wie der Komplexität einer Szene, Bewegung sowie den Bildverarbeitungsmöglichkeiten der Kamera abhängig ist.

Bei der Entwicklung von Kameras legt Axis mehr Wert auf die forensisch relevante Eignung und die Bildqualität als auf die Messung und Angabe eines hohen dB-Werts. Aufgrund dieser Priorisierung erbringen Axis-Kameras mit einem bestimmten Dynamikbereich häufig eine bessere Leistung als konkurrierende Kameras mit höherem dB-Wert.

# Inhalt

1	Einführung	4
2	Szenen mit großem Dynamikbereich	4
3	Physikalische Einschränkungen des Dynamikbereichs einer Kamera	5
3.1	Pixelgröße und Belichtungszeit	5
3.2	Bildrauschen und Bittiefe	5
3.3	Bildanzeige	6
4	Allgemeine Verfahren zur Erweiterung des Dynamikbereichs einer Kamera	6
4.1	Zwei- oder mehrfache Belichtung	6
4.2	Pixel mit zwei- oder mehrfacher Empfindlichkeit	6
4.3	Kontrastverstärkung	7
4.4	Lokale Kontrastverstärkung	7
5	WDR-Bildbearbeitung bei Axis-Kameras	7
5.1	WDR-Leistung aus der Sicht von Axis	7
5.2	Axis WDR-Lösungen	8
6	Dynamikbereich, angegeben als dB-Wert	9
7	Artefakte in der WDR-Bildbearbeitung	10

# 1 Einführung

Sicherheitskameras haben mit Szenen mit großem Dynamikbereich – also Szenen mit sehr unterschiedlicher Lichtintensität – normalerweise Probleme. Dieses Whitepaper erklärt den technischen Hintergrund für den eingeschränkten Dynamikbereich einer Kamera, beschreibt die verfügbaren Methoden zur Erzielung einer guten WDR-Leistung und stellt die Axis WDR-Videolösungen mit maximalem forensischen Wert und Verwertbarkeit vor.

## 2 Szenen mit großem Dynamikbereich

Der Begriff „Dynamikbereich“ bezeichnet die unterschiedliche Lichtintensität zwischen den dunkelsten und hellsten Bereichen einer Szene oder eines Bildes. Deshalb enthält eine Szene mit einem großen Dynamikbereich sowohl sehr helle als auch sehr dunkle Bereiche. Typische Beispiele in Sicherheitsanwendungen sind:

- Eingangstüren vor hellem Außenlicht mit einem dunklen Eingangsbereich innen.
- Innen dunkle Parkhäuser oder Tunnel vor hellem Tageslicht außen.
- Außenbereiche mit direkter Sonneneinstrahlung und Schatten.
- Bürogebäude oder Einkaufszentren mit vielen Lichtreflexionen von Fenstern.

Die folgende Beispielszene mit großem Dynamikbereich wurde mit einer Sicherheitskamera ohne Technologie für das Verarbeiten von WDR-Szenen erfasst.



Abbildung 2.1 Eine typische Überwachungsszene mit großem Dynamikbereich: ein Parkhaus mit heller Einfahrt. Die beiden Abbildungen wurden mit unterschiedlich langer Belichtung aufgenommen: das linke mit kürzerer und das rechte mit längerer Belichtungszeit.

Je nach Belichtungszeit kann die Kamera entweder die gut beleuchtete Einfahrt und den hellen Außenbereich oder das dunkle Innere des Parkhauses sichtbar machen. Eine Kamera ohne WDR-Funktion kann nicht den gesamten Szeneninhalte in einem Bild wiedergeben.

Bei den folgenden Bildern wurden Teile des kurz belichteten Bildes in das lange belichtete Bild eingefügt und umgekehrt. Es wird deutlich, dass die Kamera ohne WDR-Funktion wichtige Objekte in der Szene nicht erkannt hat.



Abbildung 2.2 Die gleiche Szene wie zuvor. Im linken Bild die Details, die bei kurzer Belichtungszeit nicht erkannt wurden. Im rechten Bild die Details, die bei langer Belichtungszeit nicht erkannt wurden.

Um den gesamten Inhalt der Szene erfassen zu können, benötigt man eine WDR-fähige Sicherheitskamera. Diese kann beide Extreme in einem Bild zeigen: sowohl die Details in der gut ausgeleuchteten Einfahrt als auch die dunklen Schatten im Parkhaus. Ohne WDR-Funktion kann die Kamera nur bei Dämmerung bis nahezu Dunkelheit oder bei Helligkeit ein Bild in guter Qualität liefern, während der jeweils andere Bereich unter- oder überbelichtet wäre.

### 3 Physikalische Einschränkungen des Dynamikbereichs einer Kamera

Die Hauptgründe für den begrenzten Dynamikbereich einer Kamera hängen damit zusammen, wie das Licht im Kamerasensor erfasst wird, wie die Bilder verarbeitet werden und auch mit der Art des Lichts selbst. Konkret bedeutet dies, dass der Dynamikbereich von Pixelgröße, Belichtungszeit, Bildrauschen und Bittiefe abhängig ist.

#### 3.1 Pixelgröße und Belichtungszeit

Licht besteht aus diskreten Energiequanten (Photonen). Wird die Lichtstärke einer Szene erhöht, bedeutet dies, dass mehr Photonen in Richtung der Kamera wandern. Eine Kamera, oder vielmehr ihr Bildsensor, kann aber nur eine begrenzte Anzahl von Photonen pro Belichtungsintervall erkennen.

Der Bildsensor besteht aus Millionen lichtempfindlicher Punkte, genannt Pixel, die die erfassten Photonen in Elektronen umwandeln können. Wenn die Kamera ein Bild zusammensetzt, misst sie die Elektronenzahl eines jeden Pixels und ermittelt daraus die Lichtstärke in verschiedenen Teilen der erfassten Szene.

Jedes Pixel hat eine feste Größe und kann nur eine bestimmte Anzahl von Elektronen fassen, bis es gesättigt ist. In modernen Kameras möchte man die Anzahl der Pixel maximieren, aber aus Kostengründen die Sensorgröße insgesamt minimieren, was im Endeffekt die Pixelgröße beschränkt.

Bei einer Szene mit großem Dynamikbereich werden die Pixel in den helleren Teilen des Bildes gesättigt. Eine Verkürzung der Belichtungszeit und Sammeln der Photonen über einen kürzeren Zeitraum vermeidet eine Photonenüberflutung der helleren Teile. Bei verkürzter Belichtungszeit werden aber in den dunkleren Bereichen weniger Photonen erfasst. Aufgrund der Teilcheneigenschaft von Licht und einem Phänomen namens „Photonenschrottrauschen“ entsteht in diesen Bildbereichen sichtbares Bildrauschen. Die richtige Belichtungszeit eines Pixels maximiert das Signal-Rausch-Verhältnis, ist also bei Pixeln in den helleren Teilen des Bildes kürzer als bei Pixeln in dunkleren Bereichen.

#### 3.2 Bildrauschen und Bittiefe

Auf Pixelebene ist der Dynamikbereich definiert als der Quotient aus maximalem Signal und Grundrauschen. Das Grundrauschen bestimmt die geringste erkennbare Signalintensität über der Intensität der Gesamtsumme aller Rauschquellen. Ein Teil des Rauschens geht auf Fehler im Analog-Digital-Wandler zurück, der die Elektronen zählt und für jedes Pixel einen Messwert generiert. Eine weitere Art von Rauschen ist das

Photonenschrotrauschen, das auch bei perfekter Ausrüstung nicht vermeidbar ist. Jedes Rauschen führt zu Pixelwerten, die nicht die wahre Intensität der eigentlichen Szene wiedergeben.

Die Bittiefe gibt die Anzahl von Bits an, die zur Erfassung der Information in einem Pixel dienen, und legt damit die Anzahl der erkennbaren Lichtstärken fest. Sicherheitskameras haben in der Regel eine Bittiefe von 10 Bit. Eine größere Bittiefe würde theoretisch die Anzahl der erkennbaren Leuchtstärken erhöhen, doch in Wirklichkeit verbessert sich dadurch die Bildqualität nur bei ausreichend großen Sensorpixeln und geringem Rauschen. Verrauschte Sensordaten lassen sich auch durch die Erhöhung der Bitzahl nicht nennenswert verbessern.

### 3.3 Bildanzeige

Neben der Bittiefe ist außerdem zu beachten, dass der typische Monitor, auf der das Sicherheitspersonal das Überwachungsvideo ansieht, eine Bittiefe von nur 8 Bit pro Farbkanal hat. Der Algorithmus zur Umwandlung der 10 Bit des Sensors in die 8 Bit des Monitors ist also für eine hohe WDR-Leistung entscheidend.

## 4 Allgemeine Verfahren zur Erweiterung des Dynamikbereichs einer Kamera

Es wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um die Einschränkungen beim Dynamikbereich einer Kamera zu umgehen und eine gute WDR-Darstellung zu erzielen. Manchmal werden die Verfahren miteinander kombiniert, um das Ergebnis weiter zu verbessern. Kein einzelnes Verfahren ist für alle Anwendungen optimal, weil jedes unterschiedliche visuelle Anomalien (so genannte Artefakte) hervorruft. Artefakte, die in einer Anwendung nicht zu sehen sind, können in einer anderen ein völliges Chaos anrichten. Häufige Artefakte sind in Abschnitt 7 beschrieben.

### 4.1 Zwei- oder mehrfache Belichtung

Mit einem Merging-Algorithmus lassen sich mehrere mit unterschiedlichen Belichtungszeiten aufgenommene Bilder miteinander verschmelzen. Dies ist das häufigste Verfahren zur Erweiterung des Dynamikbereichs. Wegen der sequenziellen Erfassung erzeugt dieses Verfahren jedoch Artefakte in bewegten Szenen. In der Regel kann eine schnelle Bewegung zu Problemen führen, da die beiden Belichtungen nicht zusammengeführt werden können, weil sich die Objekte zwischen den beiden Belichtungen nicht an derselben Position befinden.

Für eine Doppelbelichtung sind zwei Belichtungszeiten erforderlich: eine sehr kurze und eine lange. Da die kurze Belichtungszeit nicht mit allen Typen moderner künstlicher Beleuchtung (LEDs) synchronisiert werden kann, kann das Flimmern im hellen Bereich des Bildes deutlich sichtbar sein.

Zu den häufigsten Problemen, die durch Doppelbelichtung verursacht werden, gehören:

- Flimmern
- Bewegungsunschärfe und Ghosting
- Rauschen bei Dämmerung bis nahezu Dunkelheit in der Szene
- Unerwartetes Rauschen in den mittleren Grautönen der Szene

### 4.2 Pixel mit zwei- oder mehrfacher Empfindlichkeit

Bei diesem Verfahren enthält die Kamera einen Bildsensor mit zwei oder mehr Pixelarten unterschiedlicher Lichtempfindlichkeit. So entstehen praktisch bei einer einzelnen Aufnahme zwei Bilder, ein dunkleres und ein helleres, jeweils eines für jeden Pixelsatz. Das endgültige Bild wird in Echtzeit erstellt, indem diese Bilder mithilfe eines Zusammenführungsalgorithmus und Tone-Mapping kombiniert werden. Der Empfindlichkeitsunterschied benachbarter Pixel ist in der Regel beschränkt, was den mit diesem Verfahren erreichbaren Dynamikbereich einschränkt. Die simultane Belichtung vermeidet Artefakte durch Bewegung und Flackern, doch an ihrer Stelle können andere Arten von Artefakten auftreten. So kann beispielsweise die schlechtere Auflösung dieses Verfahrens (weil das Bild aus weniger Pixeln zusammensetzt ist) Moiré-Muster und Treppeneffekte erzeugen. Außerdem ist die Verarbeitung der Kombination der beiden Pixelsätze unter Umständen nicht einfach und kann weitere Probleme verursachen. Typische Artefakte sind:

- Moiré-Muster und Treppeneffekte
- Lärm
- Unschärfe

### 4.3 Kontrastverstärkung

Bei diesem digitalen Verfahren werden die dunkelsten Bereiche eines unterbelichteten Bildes digital aufgehellt. Das Verfahren erweitert den Dynamikbereich nicht wirklich, es ermöglicht lediglich eine bessere Erkennung im finalen Bild, speziell in ansonsten überbelichteten Bereichen. Es ist praktisch in Szenen mit eingeschränktem Dynamikbereich und viel Bewegung. Typische zusätzlich eingeführte Artefakte sind:

- Unintuitives Rauschen in den dunkleren Bereichen
- Sehr wenige Graustufen in manchen Bereichen
- Unnatürliche Farben

### 4.4 Lokale Kontrastverstärkung

Üblicherweise passen die Kameras die Gradationskurve global an, wandeln also alle Pixel im Bild gleich um. Auch ein lokales Verfahren ist möglich, bei dem die Gradationskurve in verschiedenen Bereichen des Sensors unterschiedlich angepasst wird. Dies vergrößert den Dynamikbereich nicht wirklich, aber durch Abmildern des Kontrasts entsteht ein leistungsfähiges Visualisierungswerkzeug, das eine bessere Anzeige auf Bildschirmen mit kleinem Dynamikbereich ermöglicht. Je nachdem, wie intensiv das Verfahren genutzt wird, entstehen typische Artefakte wie:

- Geisterbilder
- Konturenbildung
- Fehlender Kontrast
- Zu grelle Farben

## 5 WDR-Bildbearbeitung bei Axis-Kameras

Axis hat mehrere Lösungen für die WDR-Bildbearbeitung im Angebot, die einige der im vorigen Abschnitt beschriebenen Verfahren mit modernster Bildverarbeitung und Verfahren zur Reduzierung von Artefakten kombinieren.

### 5.1 WDR-Leistung aus der Sicht von Axis

Wir bei Axis konzentrieren uns bei der Bewertung unserer WDR-Lösungen auf einige wenige wichtige Aspekte. Für die Auswahl der richtigen Lösung für den jeweiligen Sicherheitsfall müssen die verschiedenen Aspekte je nach Situation unterschiedlich gewichtet werden. Die Auswertung der Aspekte erfolgt nach der realen Verwendung und subjektiver Einschätzung.

Tabelle 5.1 *Aspekte für die Bestimmung der WDR-Leistung.*

Aspekt	Bedeutung
Bewegung	Wie gut werden Bewegungs- und Flimmer-Artefakte vermieden?
Helligkeitsumfang	Der praktische Dynamikbereich. Bezogen auf den dB-Wert.
Darstellung	Wie gut wird das Bild in einer schwierigen Szene wiedergegeben?

Die Bewertung des Aspekts **Bewegung** fasst die Fähigkeit der Lösung zusammen, eine bewegte Szene einzufangen, ohne mit der Abtasttechnik verbundene Artefakte einzuführen. Die Korrektur des Flimmerns ist ein wichtiger Faktor bei diesem Aspekt, außerdem dürfen keine Artefakte kombiniert werden.

Die Bewertung des Aspekts **Helligkeitsumfang** fasst zusammen, wie groß der Helligkeitsunterschied zwischen dem hellsten und dem dunkelsten Teil des Bildes sein kann, um das Bild weiterhin für Sicherheitszwecke nutzen zu können.

Die Bewertung des Aspekts **Darstellung** fasst die Fähigkeit der Lösung zur Wiedergabe schwieriger Lichtbedingungen zusammen, wobei auf einem Computermonitor ein geeignetes Bild für Sicherheitsmitarbeiter entstehen muss. Ziel ist nicht die Reproduzierung der Szene mit möglichst genauer Wiedergabegüte, weil dem Betrachter dadurch Details entgehen würden.

## 5.2 Axis WDR-Lösungen

Der Dynamikbereich einer Kamera wird üblicherweise über einen dB-Wert angegeben, der sich auf den im vorigen Abschnitt beschriebenen Aspekt „Helligkeitsumfang“ bezieht. Um jedoch die Verwendbarkeit und hohe Detailschärfe in typischen Sicherheitsszenen zu gewährleisten, geben die Axis WDR-Lösungen den Aspekten Bewegung und Darstellung Vorrang gegenüber dem Aspekt Helligkeitsumfang. Dadurch können Axis-Kameras den Dynamikbereich oft besser abbilden, als dies nach ihrem dB-Wert zu erwarten wäre. Wegen der verringerten Zahl von Bildfehlern und besseren Verwertbarkeit kann eine Kamera von Axis mit einem geringeren dB-Wert durchaus eine bessere Leistung bieten als ein Konkurrenzprodukt mit höherem dB-Wert. Weitere Informationen zu dB-Werten siehe Abschnitt 6.

Axis hat folgende WDR-Lösungen im Angebot:

- **Forensic WDR** ist eine Kombination aus zweifacher Belichtung und einem Verfahren zur lokalen Kontrastverbesserung. Es liefert Bilder, die für maximale forensische Verwertbarkeit optimiert sind. Die Technologie nutzt die neueste Generation von Algorithmen zur Bildverarbeitung und verringert effizient Bildrauschen und Artefakte. Forensic WDR eignet sich auch für bewegte Szenen und für Kameras mit extrem hoher Auflösung.
- **WDR Forensic Capture** kombiniert eine zweifache Belichtung mit einem Verfahren zur lokalen Kontrastverbesserung. Es liefert Bilder, die für maximale forensische Verwertbarkeit optimiert sind.
- **WDR Dynamic Capture** arbeitet mit zweifacher Belichtung und kombiniert unterschiedlich lang belichtete Bilder miteinander.
- **WDR Dynamic Contrast** nutzt ein Kontrastverstärkungsverfahren mit relativ geringem Dynamikbereich, das aber nur sehr wenige Artefakte erzeugt. Da nur eine Belichtungsstufe verwendet wird, funktioniert diese Lösung gut bei Szenen mit viel Dynamik.

Manche Axis Kameras nutzen eine spezielle Kombination dieser verschiedenen Verfahren, um den Dynamikbereich zu vergrößern. Bei diesen Kameras wird die WDR-Lösung für jede Kamera maßgeschneidert und in den Produktinformationen als „WDR“ bezeichnet.

Die WDR-Lösungen von AXIS sind voreingestellt, Sie können jedoch die Doppelbelichtung einschalten oder ausschalten. Manche kaufen eine Kamera mit „Forensic WDR“, schalten die Doppelbelichtung aus, weil in der Szene viel Bewegung herrscht, und müssen sich dann mit dem lokalen Kontrast begnügen. Einige Sensoren und System-on-Chips (SoCs) sind aus Leistungsgründen nicht in der Lage, hohe Auflösungen in Verbindung mit Doppelbelichtung zu verarbeiten. Diese Kameras können lediglich einen lokalen Kontrast nutzen.

Bei einigen Kameras lässt sich die Bildrate erhöhen (manchmal sogar verdoppeln), wenn die Doppelbelichtung deaktiviert wird.

Die folgende Tabelle zeigt die Einstufung der Axis WDR-Lösungen nach Performance-Aspekten.

Tabelle 5.2 WDR-Lösungen von Axis, bewertet nach den Kriterien Bewegung, Helligkeitsumfang und Bildqualität. +: bezieht sich auf die Leistungsbewertung. -: bezieht sich auf die Leistung einer herkömmlichen Kamera ohne WDR.

WDR-Lösung	Bewegung Wie gut werden Bewegungs- und Flimmer-Artefakte vermieden?	Helligkeitsumfang Wie gut kann die Kamera den Kontrast zwischen den dunkelsten und hellsten Bereichen einer realistischen Szene wiedergeben? (auch als dB-Wert bezeichnet)	Darstellung Wie gut wird das Bild in einer schwierigen Szene wiedergegeben?
Forensic WDR	+++	+++	+++++
WDR Forensic Capture	++	+++	+++
WDR Dynamic Capture	+	+	++
WDR Dynamic Contrast	+++++	-	-

Laut der Einstufung ist Forensic WDR die WDR-Lösung mit der besten allgemeinen Leistung. Sie schneidet in den Aspekten Bewegung und Darstellung besser ab als WDR Forensic Capture. Diese forensischen Lösungen stellen jedoch eine revolutionäre Verbesserung bei der Erfassung schwieriger Szenen dar. Ihre Fähigkeit, Details in den dunklen Teilen einer Szene ohne Überbelichtung der hellen Teile sichtbar zu machen, ist unerreicht und ergibt Bilder von außergewöhnlichem forensischem Wert.

Da die Priorität bei den forensischen Lösungen auf der forensischen Verwertbarkeit liegt, werden alle Schatten aufgehellt und Details verstärkt, weshalb sich das Bild deutlich von beispielsweise einer üblichen Videoanzeige unterscheidet. Bei einer Kamera mit Forensic WDR wird der Dynamikbereich der Szene ohne Detailverlust in einen viel geringeren Dynamikbereich komprimiert. Dadurch wird das Video für die Anzeige optimiert, ohne die Augen der professionellen Mitarbeiter in einer Sicherheitszentrale, die sich bei ihrer Arbeit viele Livevideos und Aufzeichnungen ansehen müssen, zu sehr zu beanspruchen.

Die folgende Abbildung vergleicht die Aufzeichnung einer Szene von zwei verschiedenen Kameras: links mit einer Kamera ohne WDR-Funktion, rechts mit einer Axis-Kamera mit Forensic WDR. Mit Forensic WDR sind die Details sowohl im von hinten beleuchteten Innenraum als auch im Außenbereich deutlich sichtbar.



Abbildung 5.1 Innenraumszene mit starker Hintergrundbeleuchtung. Vergleich zwischen einer Kamera ohne WDR-Funktion (links) und einer Axis-Kamera mit Forensic WDR (rechts).

## 6 Dynamikbereich, angegeben als dB-Wert

Der Dynamikbereich einer Kamera wird meist als dB-Wert angegeben, der sich auf den in Abschnitt 5 beschriebenen Aspekt des Helligkeitsumfangs bezieht.

Der dB-Wert gibt das Verhältnis zwischen der Abstrahlung des hellsten und des dunkelsten von der Kamera erfassbaren Objekts an. Beim Verhältnis 1000:1 beträgt der dB-Wert 60 dB, berechnet als Logarithmus des Verhältnisses (hier 3), multipliziert mit 20.

Die dunkelste erkennbare Stufe kann als Grundrauschen des Sensorpixels definiert werden, da jedes unter diesem Wert liegende Signal im Rauschen untergeht. Bei dieser Definition erreicht ein guter Bildsensor im Normalfall einen Dynamikbereich von etwa 70 dB. WDR-Techniken können den praktischen Dynamikbereich oder den Helligkeitsumfang erhöhen, ohne den eigentlichen dB-Wert der Kamera zu verändern.

Jedoch geben weder der dB-Wert noch der Helligkeitsumfang den vollen Dynamikbereich einer Kamera an. Die Qualität eines WDR-Bildes hängt außerdem vom verwendeten WDR-Verfahren ab, ob noch sichtbare Artefakte verbleiben sowie von der Qualität der Bildverarbeitung. Einige dieser Faktoren werden unter den in Abschnitt 5 beschriebenen Aspekten Darstellung und Bewegung zusammengefasst.

Das Bild unten rechts wurde mit einer Kamera aufgenommen, deren angegebener dB-Wert geringer war als bei der Kamera links. In dieser Szene mit großem Dynamikbereich erzeugte die Kamera mit geringerem dB-Wert wider Erwarten das für Videosicherheitszwecke deutlich besser geeignete Bild. Offenbar enthält die Kamera mit geringerem dB-Wert noch weitere Funktionen, die die WDR-Fähigkeit verbessern, wie beispielsweise eine bessere Bildverarbeitung.



Abbildung 6.1 Von hinten beleuchteter Innenraum, erfasst von Kameras mit unterschiedlichem dB-Wert. Wider Erwarten stammt das rechte Bild von einer Kamera, deren angegebener dB-Wert geringer war als bei der linken Kamera.

## 7 Artefakte in der WDR-Bildbearbeitung

In diesem Abschnitt werden einige der häufigsten optischen Artefakte und ihre Ursachen beschrieben.

- **Bewegungsunschärfe:** Motion blur („Bewegungsunschärfe“) Bewegungsabläufe können unscharf erscheinen, wenn sich das aufgezeichnete Bild entweder aufgrund schneller Bewegungen in der Szene oder wegen einer zu langen Belichtungszeit innerhalb eines einzelnen Bilds ändert. Bei WDR-Kameras, die Mehrfachbelichtungen verwenden, treten je nach Helligkeit an verschiedenen Stellen des Bildes unterschiedlich starke Bewegungsunschärfen auf.



- **Geisterbilder:** Wenn ein Bild aus mehreren Belichtungen zusammengesetzt wird, kann ein bewegliches Objekt an unterschiedlichen Orten erfasst werden. Dies kann das Ergebnis eines Geisterbildeffekts um sich bewegende Objekte oder Personen herum sein.



- **Durch Flimmern verursachte Artefakte:** Durch flackerndes Licht erzeugte Artefakte können bei allen Kameratypen auftreten. Da die Beleuchtung meist als konstant vorausgesetzt wird, sind modulierte Lichtquellen wie Leuchtstoffröhrenlicht oder LED-Licht immer schwierig. Je nach Kameratyp können

Artefakte wie Streifen oder pulsierendes Licht erscheinen. Bei WDR-Kameras, die Mehrfachbelichtungen verwenden, ist der Effekt in der Regel bei der kurzen Belichtung am stärksten, was dazu führen kann, dass das Flimmern im Bild besonders deutlich sichtbar wird, da es zwischen Bereichen mit unterschiedlichen Belichtungszeiten zu einem abrupten Übergang kommen kann.



- **Unintuitives Rauschen:** Wenn Sie zwei oder mehr Bilder zu einem neuen Bild mit größerem Dynamikumfang zusammenfügen, weist das neue Bild nicht dieselben Rauschmerkmale auf wie ein Bild mit wirklich großem Dynamikumfang. Einer der Kompromisse, die man in Kauf nehmen muss, besteht darin, dass das zusammengesetzte Bild mehr Rauschen aufweist als ein ideales Bild. Dieses Rauschen verteilt sich nicht gleichmäßig über alle Stufen der Helligkeit, sondern ist in den Bereichen stärker, in denen zwei Bilder miteinander vermischt wurden. Wenn die Rauschfilter der Kameras diesen Effekt nicht ausgleichen können, kann das Ergebnis unerwartetes Rauschen in Bereichen sein, die eigentlich rauschfrei sein sollten.



- **Karikatur und Unnatürlichkeit:** Szenen mit sehr großem Dynamikumfang lassen sich auf einem Standardmonitor möglicherweise nur schwer anzeigen. Auch wenn ausgefeilte Bildbearbeitungsverfahren ihr Bestes tun, um Farbe und Kontrast zu erhalten, reicht dies manchmal nicht aus, um die Bilder auf natürliche Weise wiederzugeben. Das Ergebnis können seltsame Farben oder einfach ein insgesamt unnatürliches Erlebnis sein.



- **Purple Fringing:** Als „Purpurrand“ oder manchmal auch „Blaurand“ bezeichnet man den Effekt, bei dem scharfe, kontrastreiche Kanten im Bild aufgrund chromatischer Aberration im Objektiv einen violetten Schimmer annehmen können. Bei chromatischer Aberration werden unterschiedliche Wellenlängen im Objektiv unterschiedlich stark gebrochen, so dass sie auf dem Sensor leicht verschoben oder unscharf abgebildet werden. Dieser Effekt kann am Rand des Sensors stärker ausgeprägt sein. WDR-Kameras reagieren

möglicherweise empfindlicher auf chromatische Aberation als andere Kameras, da sie Farben und Kontraste besser wiedergeben. Während eine Kamera ohne WDR-Funktion die Bereiche in unmittelbarer Nähe heller Lichtquellen durch Sättigung oder Überbelichtung übersteuern kann, ist eine WDR-Kamera oft in der Lage, die Farbinformationen zu bewahren, was in diesem Fall dazu führen kann, dass Schwächen des optischen Systems deutlicher sichtbar werden.



- **Objektivstreulicht und -trübung:** Ein Teil des in ein optisches Linsensystem gelangenden Lichts wird nicht richtig erfasst, sondern im Linsensystem gestreut. Ein Teil dieses Lichtes wird von Ablenkplatten aufgefangen, die Lichtreflexionen reduzieren sollen, doch ein Teil trifft auf den falschen Bereich des Bildsensors auf, wodurch verschiedene Arten von Artefakten entstehen. Das häufigste Artefakt ist der Blendenfleck, der bei den meisten Kameras auftritt, wenn sie auf eine starke Lichtquelle wie die Sonne gerichtet werden. Schleier sind ein weiterer unerwünschter Effekt. Hierbei werden Kontrast und Farbsättigung in größeren Bereichen des Bildes reduziert. Beide Effekte sind besonders störend in Bildern mit starken Lichtquellen, in Szenen mit großem Dynamikbereich, bei verschmutztem Objektiv oder Staub im Linsensystem. Das Anbringen eines Wetterschutzes an der Kamera kann sowohl Streulicht als auch Trübungen verringern. Die Leistungsfähigkeit einer WDR-Kamera, d. h. ihre Fähigkeit, Szenen mit einem sehr hohen Dynamikbereich aufzuzeichnen und wiederzugeben, wird weiterhin durch das Streulicht im optischen System eingeschränkt sein.



## Über Axis Communications

Axis ermöglicht eine smartere und sichere Welt durch die Verbesserung von Sicherheit, Schutz, betrieblicher Effizienz und Geschäftsanalytik. Als Technologieführer im Bereich Netzwerk-Video bietet Axis Videosicherheits-, Zutrittskontroll-, Intercom- und Audiolösungen. Die branchenweit anerkannten Schulungen der Axis Communications Academy vermitteln fundiertes Expertenwissen zu den neuesten Technologien.

Das 1984 gegründete schwedische Unternehmen beschäftigt etwa 5.000 engagierte Mitarbeiter in über 50 Ländern und bietet mit Technologie- und Systemintegrationspartnern auf der ganzen Welt kundenspezifische Lösungen an. Der Hauptsitz ist in Lund, Schweden.