



**Ein neues Konzept zur Bestimmung
der optimalen Röntgenspannung für
die ZfP mit digitaler Radiographie**

**U. Ewert, K. Heyne, U. Zscherpel, M. Jechow, BAM, Berlin
K. Bavendiek, YXLON International, Hamburg**

uwe.ewert@bam.de

**Optimale Röntgenspannung in der
Digitalen Radiographie Mai, 2010**




1

Motivation

- Schwierigkeiten bei der Radiographie mit Speicherfolien und Flachdetektoren machten es erforderlich, einige Grundlagen aus den Z-RT-Kursen für digitale Anwendungen zu überprüfen.
- Anlass war unter anderem das Problem, dass Anwender nicht immer die Klasse B (Drahtstegerkennbarkeit) beim Einsatz von Speicherfolien erreichen konnten.
- Mit Flachdetektoren wurde eine deutlich höhere Bildqualität als mit Filmen erreicht, obwohl diese meist erheblich unschärfere Bilder liefern.
- Es sollte überprüft werden, warum die Bildqualität (Drahterkennbarkeit) ansteigt, wenn
 - mit Speicherfolien im Vergleich zur Filmmradiographie die Röhrenspannung abgesenkt wird und
 - mit DDAs im Vergleich zur Filmmradiographie die Röhrenspannung erhöht wird.



**Optimale Röntgenspannung in der
Digitalen Radiographie Mai, 2010**



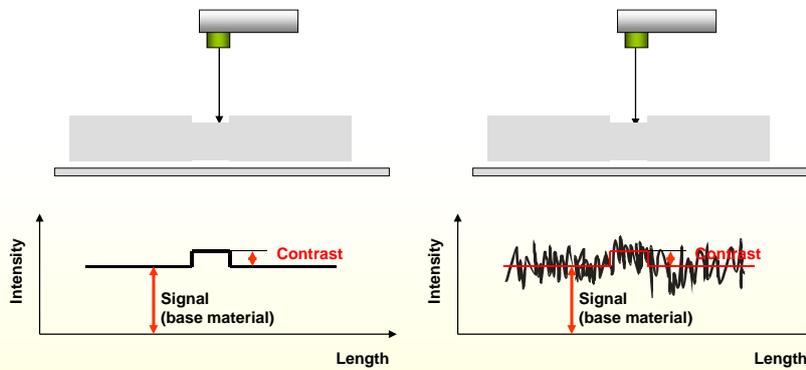
2

Revision der Standards für die Radiographie mit Speicherfolien erforderlich

- In den neuen Vorschlägen zu **EN 14784-2** und der **ISO 17636-2** (äquivalent zu EN 1435-2) wurde die Angabe der maximal zulässigen Grenzenergie zu einer Empfehlung umformuliert.
- Weiterhin sollten Erfahrungsberichte aus dem E.07-Komitee von ASTM (USA) überprüft werden:
 - Hier wurde berichtet, dass die Bildqualität steigt (höhere Bildgüte), wenn mit höheren Dosisleistungen gearbeitet wird. Das erschien uns unlogisch, wenn doch mit der Belichtungszeit kompensiert werden kann.
 - Neue Revision von **ASTM E 2033**: „6.2.4. Sub-optimal conditions to avoid include: *low intensity X-ray or gamma-ray exposure sources, excessively low or high X-ray energy levels*“

Bildqualität in der digitalen Radiologie

Einfluss des Bildrauschens auf die Detailerkennbarkeit



Nute sichtbar!

**Kontrast/Rauschen ist hoch
Signal/Rauschen ist hoch**

Nute nicht sichtbar!

**Kontrast/Rauschen ist niedrig
Signal/Rauschen ist niedrig**

Grundlagen der digitalen Radiographie

Bildgüte (Drahtstege, Stufe-Loch),
bei gegebener Objektgröße

$$\frac{CNR}{\Delta w} = SNR_{Total} \cdot \mu_{eff}$$

Material,
keV, Strahlertyp
Streustrahlung
Folien und Filter

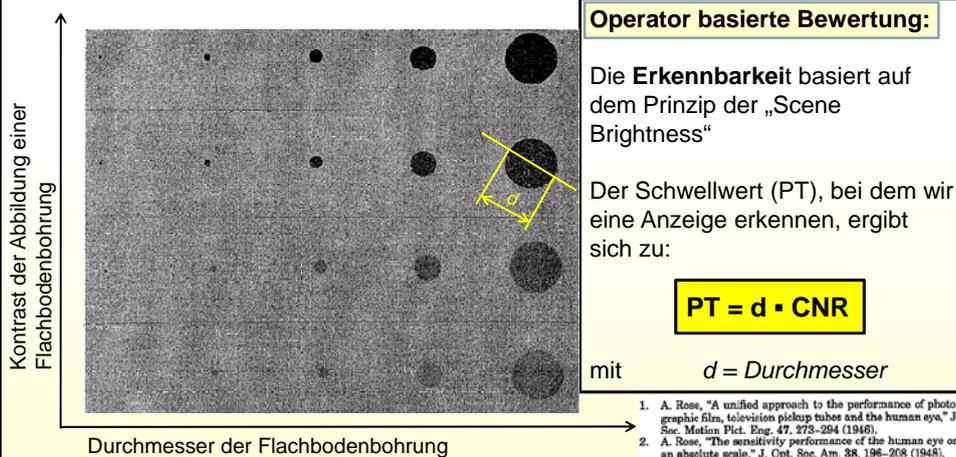
Specific CNR

Belichtungszeit, FFA
Röhrenstrom, Aktivität
Detektorempfindlichkeit

Rauschquellen

- **Photonenrauschen** – ändert sich mit der Belichtungsdosis (z.B. mA·s or GBq·min)
- **Strukturrauschen** von Speicherfolien („Rauheit“ oder Körnigkeit der strahlungsempfindlichen Schicht und Homogenität der Schutzschicht)
- **Kristalline Struktur** des Materials (z.B. nickelbasierte Legierungen, Mottling)
- **Oberflächenrauheit** des Prüfobjektes (z.B. Gussteile)

Grundlagen der digitalen Radiographie



Operator basierte Bewertung:

Die **Erkennbarkeit** basiert auf dem Prinzip der „Scene Brightness“

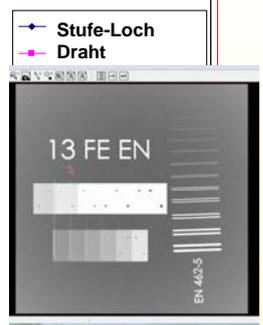
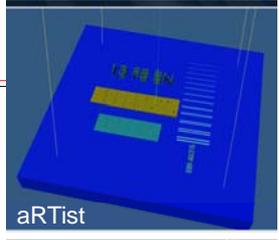
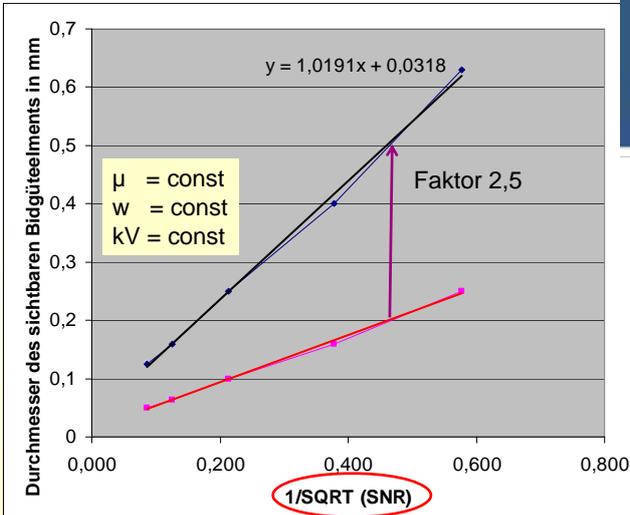
Der Schwellwert (PT), bei dem wir eine Anzeige erkennen, ergibt sich zu:

$$PT = d \cdot CNR$$

mit $d = \text{Durchmesser}$

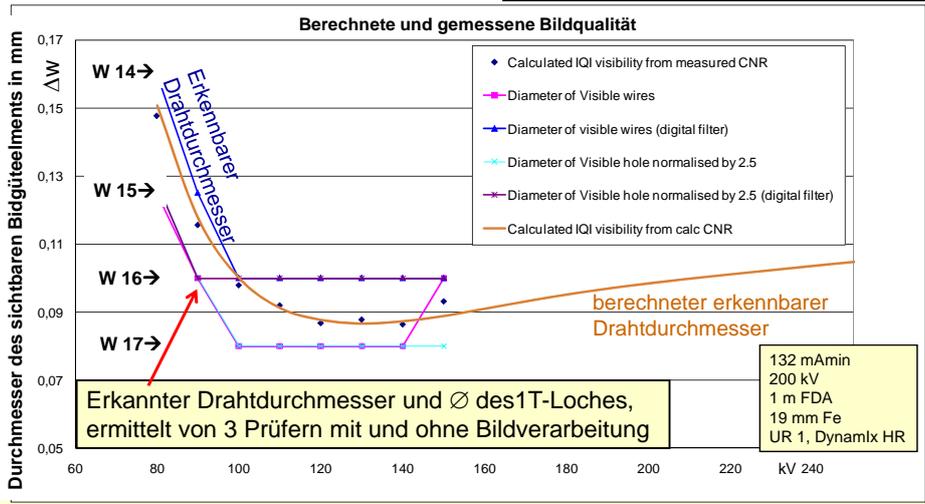
1. A. Ross, "A unified approach to the performance of photographic film, television pickup tubes and the human eye," J. Soc. Motion Pict. Eng. 47, 273-294 (1946).
2. A. Ross, "The sensitivity performance of the human eye on an absolute scale," J. Opt. Soc. Am. 38, 196-208 (1948).
3. A. Ross, "Television pickup tubes and the problem of vision," in *Advances in Electronics and Electron Physics*, L. Marten, ed (Academic, New York, 1948), Vol. 1, pp. 131-166.

Überprüfung für Drähte und Löcher
 → Modellierte Radiographie einer Fe-Platte mit verschiedenen Bildgütekörpern



Übereinstimmung von berechneter und gemessener Bildqualität

$\Delta w = \text{const} / \text{Wurzel}(\mu(kV, w) \cdot \text{SNR}(GV))$



Empfehlungen zur Prüfanweisung

Grundlagen der digitalen Radiographie

Alle Standards der Filmradiographie erfordern weltweit:

Film

- Minimale optische Dichte (z.B. > 2.0)
- Maximale Filmsystem-Klasse (z.B. $\leq C5$)

- Maximale Unschärfe (< 0.1 mm)

- Nachweis der Bildgüte mit
 - Drähten,
 - Stufe-Loch-Bildgütekörpern oder
 - Lochplättchen

Digitaler Detektor

} Signal-zu-Rauschverhältnis
oder Grauwert ?

→ Geometrie und Detektor

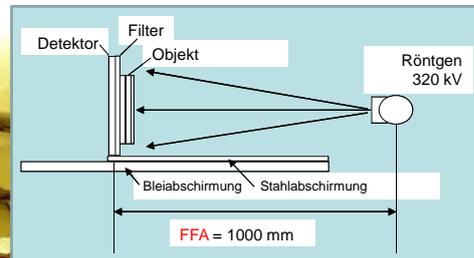
} Kontrast-zu-Rauschverhältnis

Versuchsaufbau zur Bestimmung der optimalen Durchstrahlungsenergie



Kassette mit Speicherfolie
FujiFilm ST VI oder UR 1

Stahl oder Al-Platte
mit 5%-Stufe und
Bildgütetestkörpern



320 kV-Röhre,
Seifert, Isovolt

FDA = 1 m
a) ODA = 25 cm
b) ODA = 0 cm

Filmersatzprozedur - Mindestbelichtungs-dosis

Belichtung der Speicherfolie in Äquivalenz zur minimalen opt. Dichte des Films

- a) bis ein Mindest-SNR im auswertbaren Bereich erreicht wird (nach Norm EN 14784-2)
- b) bis ein Mindestgrauwert im auswertbaren Bereich erreicht wird

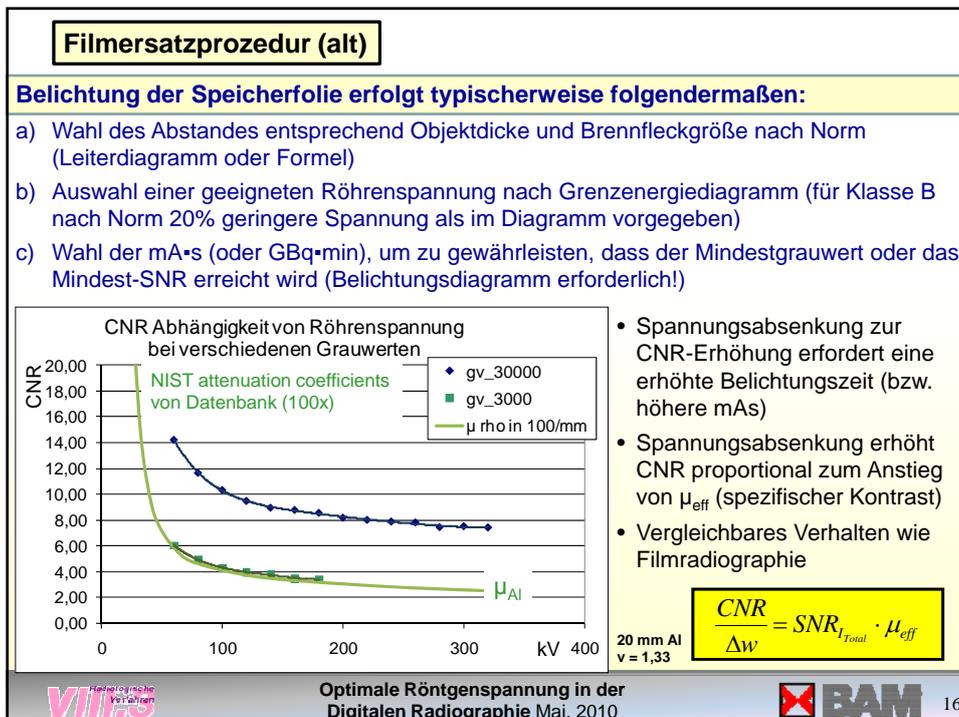
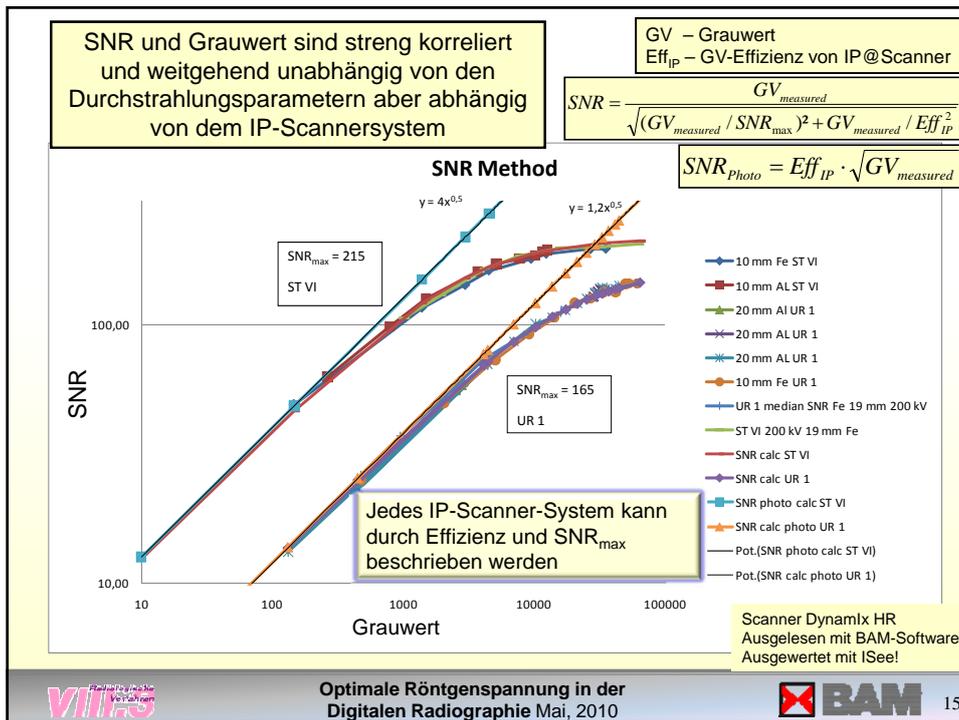
- Variante b) ist zur Zeit nicht zulässig, soll aber in der nächsten Revision der EN 14784-2 erlaubt werden.
- Der Nutzer muss dann allerdings sein System kalibrieren (siehe nächste Folie)!

Verwendung des Grauwertes anstatt des Mindest-SNR-Wertes nach Norm ist nur möglich, wenn

- der gleiche Speicherfolientyp verwendet wird
- der gleiche Scanner verwendet wird
- die gleichen Scannereinstellungen verwendet werden

Neukalibrierung zur Bestimmung des Mindestgrauwertes ist erforderlich, wenn

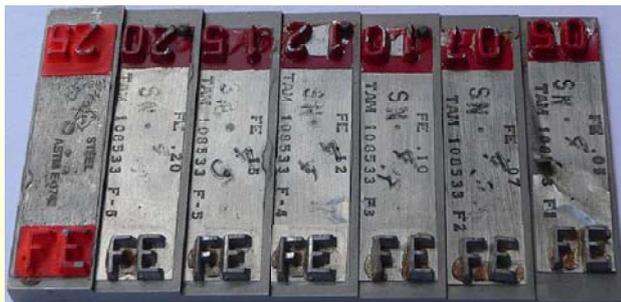
- Scanner-Scan-Geschwindigkeit verändert wird
- Scannerempfindlichkeit (gain) verändert wird
- Multiplier-Spannung verändert wird
- Laserintensität verändert wird
- ein anderer Speicherfolientyp im gleichen Scanner verwendet wird.



Alternative Filmersatzprozedur (neu für Röntgenanwendungen)

Belichtung des digitalen Detektors:

- a) Wahl des Abstandes entsprechend Objektdicke und Brennfleckgröße nach Norm (Leiterdiagramm oder Formel)
- b) Auswahl der maximalen mA-Einstellung und einer wirtschaftlichen Belichtungszeit
- c) Einstellung der Röhrensorgung, um zu gewährleisten, dass der Mindestgrauwert oder das Mindest-SNR bei voreingestellter mA-Auswahl erreicht wird
- d) **Ist eine obere Begrenzung oder Optimierung der Röhrensorgung überhaupt erforderlich?**



Stufenkeilexperiment

Fe 1,25 – 12 mm
mit ASTM
Bildgütestestkörpern



Optimale Röntgensorgung in der
Digitalen Radiographie Mai, 2010



17

Kompensationsprinzip I

80kV	1 mA min	2 mA min	5 mA min	10 mA min	20 mA min
0,05 in	1	2	1	1	1
0,07 in	4	2	2	2	1
0,10 in	-	2	2	2	1
0,12 in	4	4	2	2	1
0,15 in	-	-	2	2	2
0,20 in	kein Loch sichtbar		-	2	2
0,25 in	kein Loch sichtbar		-	-	4

100kV	1 mA min	2 mA min	5 mA min	10 mA min	20 mA min
0,05 in	2	1	1	1	1
0,07 in	2	2	1	1	1
0,10 in	2	2	1	1	1
0,12 in	2	2	1	1	1
0,15 in	4	2	2	1	1
0,20 in	-	4	2	1	1
0,25 in	-	-	1	?	1

150kV	1 mA min	2 mA min	5 mA min	10 mA min	20 mA min
0,05 in	2	1	1	?	?
0,07 in	2	1	1	?	übersteuert
0,10 in	2	2	1	?	?
0,12 in	2	2	2	1	?
0,15 in	2	2	2	1	1
0,20 in	4	2	2	1	1
0,25 in	4	2	2	1	2

Sichtbarkeit von IQIs in Abhängigkeit von der Belichtungsdose und der Röhrensorgung

- Ansteigende Röhrensorgung reduziert den spezifischen Kontrast μ_{eff} , aber steigert die Belichtungsdose am Detektor
- Der Anstieg des SNR bei höherer Röhrensorgung kompensiert den Kontrastverlust.

IQI-Sichtbarkeit

$$\frac{CNR}{\Delta w} = SNR_{Total} \cdot \mu_{eff}$$

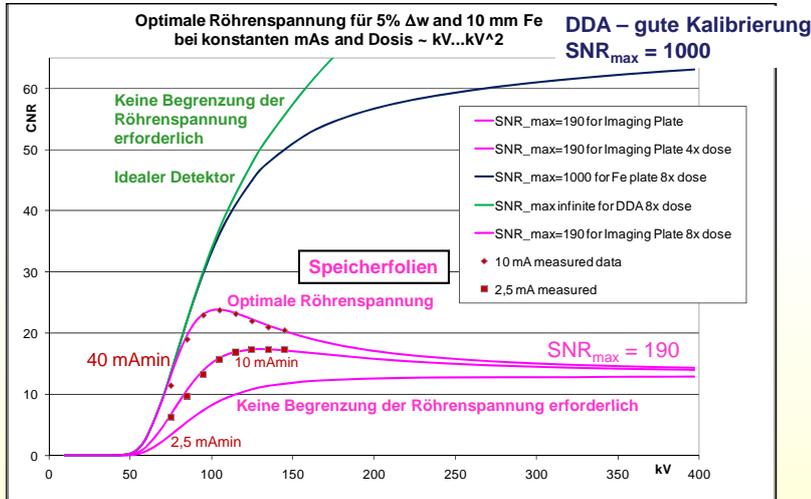


Optimale Röntgensorgung in der
Digitalen Radiographie Mai, 2010



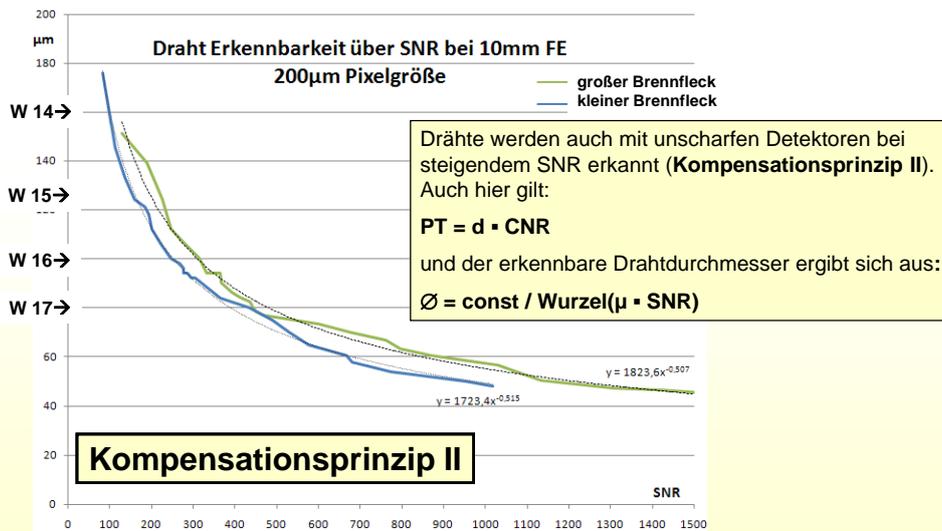
18

Bildgüte (CNR) in Abhängigkeit von den Belichtungs- und Detektorparametern



CNR als Funktion der Röhrenspannung bei verschiedenen mAs-Einstellungen (100%, 25%, 6,25%) und konstanter Messanordnung mit Vergrößerung von 1,33.

Erkennbarkeit von Drähten mit unscharfen Detektoren → hier DDA von PE mit 200 μm Pixel-Größe



Zusammenfassung

- In der digitalen Radiographie wird die Bildqualität vorrangig durch das Kontrast zu Rauschverhältnis (CNR) bestimmt.
- Betrachtungen zum Kontrast ohne das Rauschen zu berücksichtigen sind in der digitalen Radiographie nicht sinnvoll.
- Die maximal zulässige Röhrenspannung der Filmradiographie (EN 444, 1435) kann für digitale Detektoren überschritten werden.
- Bei gut kalibrierten DDAs verbessert sich die Bildqualität bei Erhöhung der Röhrenspannung über den maximal zulässigen Wert nach EN 444 hinaus..
- Bei Speicherfolien-Scanner-Systemen gibt es eine optimale Röhrenspannung, die eine maximale Bildqualität gewährt, wenn mit hohem und konstantem mA•min-Wert belichtet wird.
- Die Bildunschärfe begrenzt die Erkennbarkeit kleiner linearer Strukturen nur teilweise.
- Drähte werden auch erkannt, wenn die Basisortsauflösung des Detektors oder die geometrische Unschärfe größer ist als der Drahtdurchmesser.

Versuchsaufbau zur Bestimmung der optimalen Durchstrahlungsenergie



Ende

Speicherfolienscanner
FujiFilm
Dynamix HR
Ausgelesen mit
BAM-Software