

Reduktion von Kreuzartefakten in der Laminographie

Uwe EWERT*, Bernhard REDMER*, Kai-Uwe THIESSENHUSEN*

* BAM Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, FB 8.3,
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Kurzfassung

Mit Hilfe der Mehrwinkelradiographie wird die Auffindwahrscheinlichkeit für planare Unregelmäßigkeiten verbessert, wenn diese innerhalb des Durchstrahlungswinkelbereiches orientiert sind. Bei Rissen mit einer geringen lateralen Öffnung (z.B. bei Spannungs-Riss-Korrosion) muss allerdings eine große Anzahl von Projektionen registriert werden, um alle Teilbereiche der Risse in Durchstrahlungsrichtung zu projizieren. Zur laminographischen 3D-Rekonstruktion können verschiedene Algorithmen verwendet werden. Die Rekonstruktion auf der Basis einer modifizierten gefilterten Rückprojektion wurde erfolgreich zur schnellen Rekonstruktion von mehreren hundert Projektionen über numerische Projektions-Verschiebealgorithmen eingesetzt. Die Rechenzeiten betragen weniger als 1 Minute für 3D-Datensätze von bis zu 1 GByte auf dem PC mit Nutzung von GPUs. Die planaren Unregelmäßigkeiten, die innerhalb des Durchstrahlungswinkelbereiches orientiert sind, werden korrekt rekonstruiert. Kreuzartefakte treten an den Winkelbereichsgrenzen der 3D-Limited-View-Datensätze und bei rekonstruierten Volumen-Unregelmäßigkeiten auf. Die wesentlich zeitaufwendigeren subtraktiven ART-Rekonstruktionen haben in dieser Hinsicht zu keiner deutlich sichtbaren Verbesserung geführt. Ein spezielles multiplikatives ART-Verfahren wurde entwickelt. Es wird in zwei Schritten nur jeweils eine Koeffizientenmatrix für Unregelmäßigkeiten mit größeren (a) und kleineren (b) Schwächungskoeffizienten in Bezug auf das Grundmaterial rekonstruiert. Beide Resultate (a und b) werden kombiniert. Dieses Verfahren ist besonders für die Rekonstruktion kleiner Unregelmäßigkeiten in metallischen Schweißnähten geeignet. Die Kreuzartefakte konnten damit unterdrückt werden.



Reduktion von Kreuzartefakten in der Laminographie

**U. Ewert, B. Redmer, K.-U. Thiessenhusen,
BAM, Berlin**

www.bam.de
uwe.ewert@bam.de

8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Übersicht

- Erläuterung **verschiedener Laminographieverfahren**
- **Rekonstruktionstechniken und Einsatzbedingungen**
 - Gefilterte Rückprojektion (FBP) und Schichtrekonstruktion
 - Algebraische Rekonstruktion (ART)
- **Koplanare Translations-Laminographie (KTL) und Eingangsdatensätze**
 - Limited View (Eingeschränkter Durchstrahlungs-Blickwinkelbereich)
 - Limited Angle (Eingeschränkter Winkeldatensatz)
- **Artefakte bei Anwendung der KT-Laminographie**
 - Kreuzartefakte,
 - Sternartefakte und
 - „Überschwingen“ der Intensitäten an scharfen Strukturen
- **Neue ART-Variante „NBP-MART“ zur Reduktion von Kreuzartefakten**
- Zusammenfassung

8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion

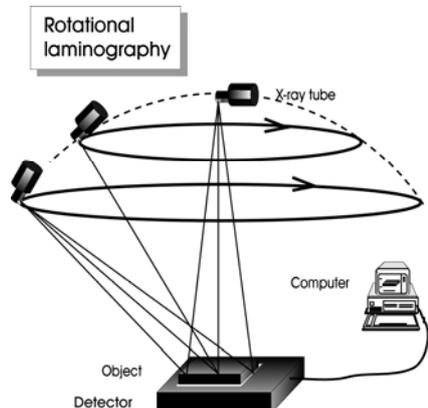
BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Laminographie - Techniken

Tomosynthese- Beschreibt Algorithmen der Rekonstruktion aus einer eingeschränkten Anzahl von Projektionen.

Laminographie - Beschreibt die Methode und die Geometrie für die Messung und Rekonstruktion.



Die verschiedenen Methoden:

- Translations-Laminographie
- Planar-Tomographie
- Rotations-Laminographie
- Swing-Laminographie

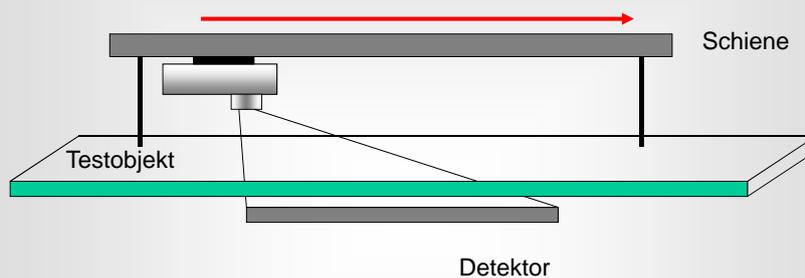
8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion



Ewert et al. - Mai 2013

Koplanare Translations-Laminographie



- Verfahren der Röntgenröhre parallel zur Objektebene.
- Messung von mehreren hundert Projektionen.
- Rekonstruktion des Querschnittbildes.

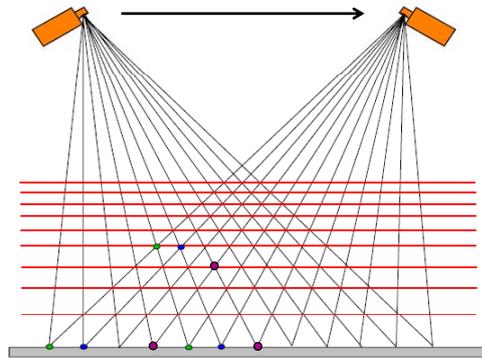
8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion



Ewert et al. - Mai 2013

Tomosynthesis



■ Rebinning

- Fast
- Several planes
- 3D data/specifications

© Fraunhofer

M. Maisl, DIR-Conference, Berlin June 2011

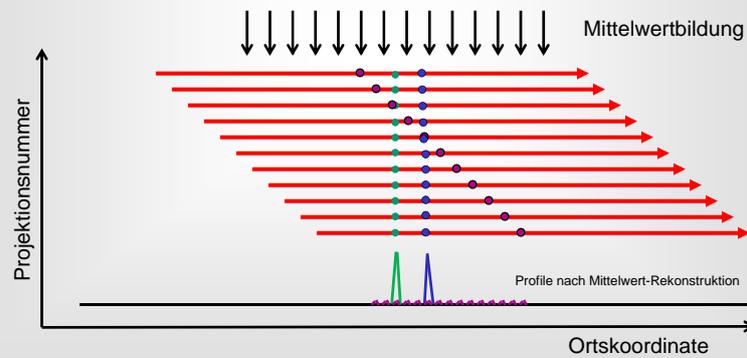
Fraunhofer
EZRT

Koplanare Translations-Laminographie

Klassisches Verfahren der Computer-Laminographie ist der schnelle

„Average Shift Algorithm“ → Mittelwert-Schicht-Verschiebungs-Algorithmus

- Jede Projektion wird digital verschoben und eine Rückprojektion wird berechnet durch Mittelung der entsprechenden Projektionselemente.



8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion

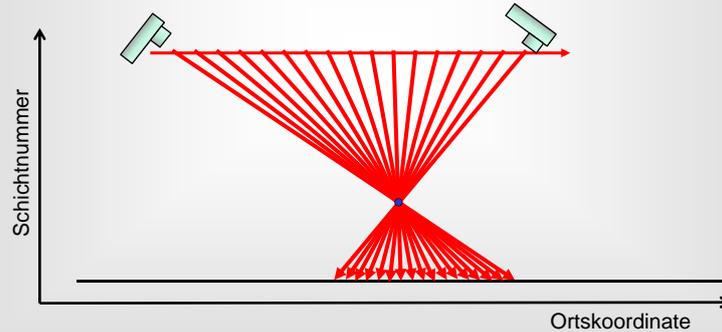
BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Koplanare Translations-Laminographie

„Average Shift Algorithm“ → Mittelwert-Schicht-Verschiebungs-Algorithmus

- Bei äquidistanten Durchstrahlungspositionen ändert sich der Durchstrahlungswinkel α nichtlinear von Position zu Position und damit ändert sich auch $\Delta\alpha$ **nichtlinear**.
- Bei Variation der Durchstrahlungsposition ändert sich der Abstand zum Detektor nichtlinear und damit auch die gemessene **Strahlungsintensität**.
- Entsprechende **Korrekturen bei der Rückprojektion** müssen berücksichtigt werden.



8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion

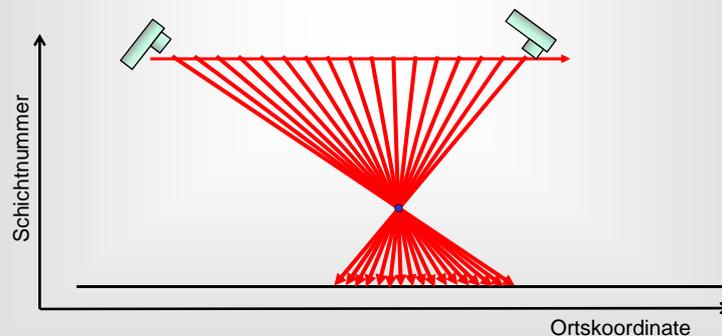
BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Koplanare Translations-Laminographie

„Average Shift Algorithm“ → Mittelwert-Schicht-Verschiebungs-Algorithmus

- Aufgrund des begrenzten Durchstrahlungswinkelbereiches wird das Objekt **nicht aus allen erforderlichen Richtungen** durchstrahlt.
- Dadurch gibt es einen **toten Winkel** für die Rekonstruktion von planaren Strukturen und **Abbrucheffekte** bei der Rekonstruktion.



8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion

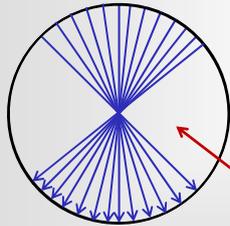
BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Translations-Laminographie: Probleme und Artefakte

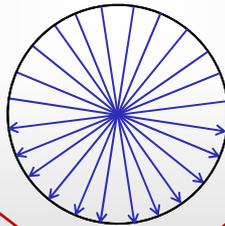
Limited View / Eingeschränktes Blickfeld

- Keine Information aus totem Winkel verfügbar
- Aber genügend Projektionen im Beobachtungsbereich



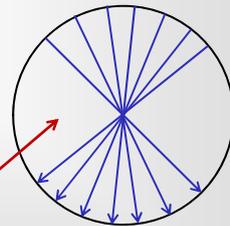
Limited Angle / Eingeschränkte Winkelzahl

- Zu große Winkelschritte bei den Projektionen
- Information aus fehlenden Projektionen nicht vorhanden.



Limited Angle und Limited View

- Keine Information aus totem Winkel
- Information aus fehlenden Projektionen nicht vorhanden.



Toter Winkel

8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

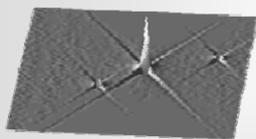
Ewert et al. - Mai 2013

Translations-Laminographie: Probleme und Artefakte

Rekonstruktionsbeispiele mit gefilterter Rückprojektion

Limited View / Eingeschränktes Blickfeld

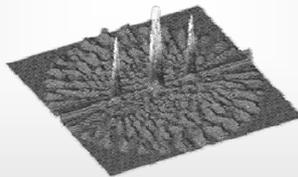
- Keine Information aus totem Winkel verfügbar
- Aber genügend Projektionen im Beobachtungsbereich



Kreuzartefakte

Limited Angle / Eingeschränkte Winkelzahl

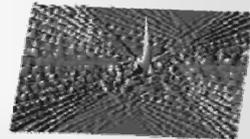
- Zu große Winkelschritte bei den Projektionen
- Information aus fehlenden Projektionen nicht vorhanden.



Sternartefakte bzw.
hohe Unschärfe

Limited Angle und Limited View

- Keine Information aus totem Winkel
- Information aus fehlenden Projektionen nicht vorhanden.



Sternartefakte und
Kreuzartefakte

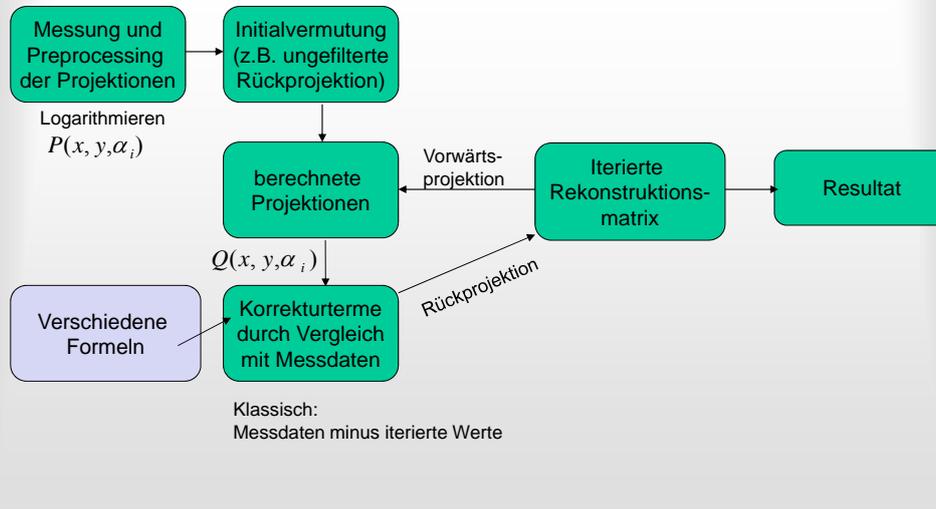
8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

Ewert et al. - Mai 2013

ART – algebraische Rekonstrukstechnik



8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Translations-Laminographie: Probleme und Artefakte

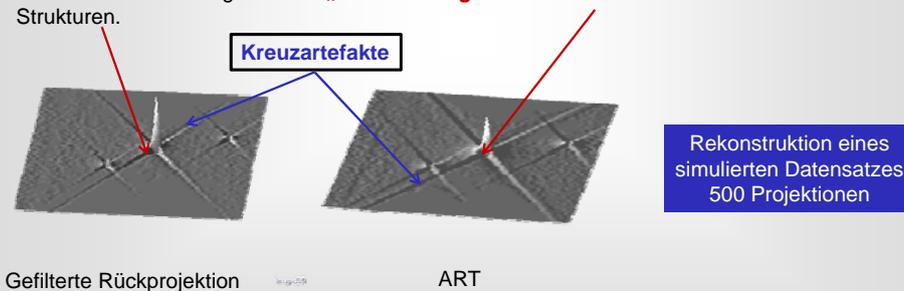
Gefilterte Rückprojektion (FBP) im Vergleich zu algebraischer Rekonstrukstechnik (ART)

Limited View / Eingeschränktes Blickfeld

- Keine Information aus totem Winkel verfügbar
- Aber genügend Projektionen im Beobachtungsbereich

Artefakte

- Kreuzartefakte** treten sowohl bei der FBP als auch bei der ART auf.
- Bei beiden Verfahren gibt es ein „Überschwingen“ der Intensitäten an scharfen Strukturen.



8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

Ewert et al. - Mai 2013

Translations-Laminographie: Probleme und Artefakte

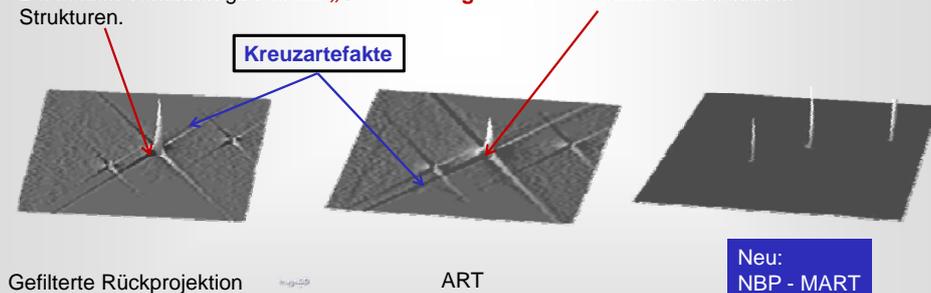
Reduktion der Artefakte durch „next to baseplane“ multiplikative ART

Limited View / Eingeschränktes Blickfeld

- Keine Information aus totem Winkel verfügbar
- Aber genügend Projektionen im Beobachtungsbereich

Artefakte

- Kreuzartefakte treten sowohl bei der FBP als auch bei der ART auf.
- Bei beiden Verfahren gibt es ein „Überschwingen“ der Intensitäten an scharfen Strukturen.



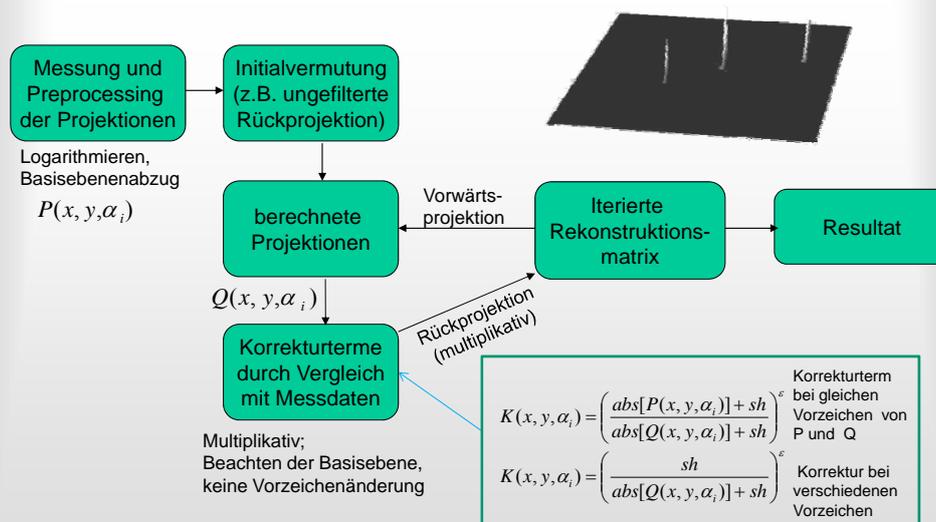
8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

Ewert et al. - Mai 2013

„Next-to-Baseplane“ multiplikative ART



8.3 Radiological Methods

Laminographie & Rekonstruktion

BAM

Ewert et al. - Mai 2013

NBP-MART

NBP – next to base plane MART

- Spezielle Rekonstruktion für Objekte, die nur wenige Fehler (Ungänzen) aufweisen, wie z.B. Schweißnähte
- Mit einem modifizierten Median-Hochpassfilter wird eine Fehlergröße ausgewählt, die extrahiert wird.



Original
DDA-Aufnahme
der BAM 5



Intensität höher
als Basisebene

Intensität niedriger
als Basisebene

8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion



Ewert et al. - Mai 2013

NBP-MART

NBP – next to base plane MART (Abweichungen zur Basisebene)

- Es handelt sich um eine spezielle Rekonstruktion für Objekte, die nur wenige Fehler (Ungänzen) aufweisen, wie z.B. Schweißnähte.
- Mit einem modifizierten Median-Hochpassfilter wird eine Fehlergröße ausgewählt, die extrahiert wird.
- Eine Basisebene wird aus den Intensitäts-Werten der Bereiche ohne Strukturen (Ungänzen) in den Projektionen berechnet.
- Die Basisebene wird von den gemessenen Projektionen subtrahiert.
- Es werden zwei MART Rekonstruktionen durchgeführt:
 - Rekonstruktion von Strukturen mit Intensitäten oberhalb der Basisfläche (z.B. Risse).
 - Rekonstruktion von Strukturen mit Intensitäten unterhalb der Basisfläche (z.B. Einschlüsse bzw. BPK).
- Die multiplikative Iteration wird jeweils so geführt, dass die Korrekturterme nicht das Vorzeichen der 3D-Ergebnismatrix-Werte ändern können.

8.3 Radiological
Methods

Laminographie & Rekonstruktion

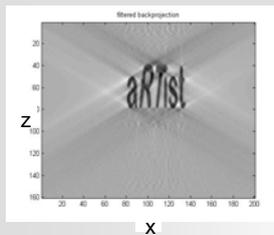


Ewert et al. - Mai 2013

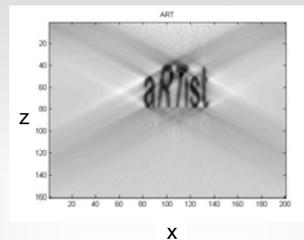
Zusammenfassung

- Die Laminographie wird eingesetzt, wenn die CT nicht anwendbar ist.
- Bei der Laminographie handelt es sich um ein inverses Problem mit eingeschränktem Datensatz.
- Bei der Rekonstruktion in der Laminographie muss berücksichtigt werden, dass die Projektionsdaten gemessen werden im:
 - eingeschränkten Blickwinkelbereich (Limited View) und
 - teilweise mit eingeschränktem Winkeldatensatz (Limited Angle)
- Bei Rekonstruktion von Daten mit eingeschränktem Winkelbereich, aber ausreichender Projektionszahl, haben sich FBP und ART in vielen Anwendungen bewährt.
- Risse und Bindefehler im Beobachtungswinkelbereich werden adäquat rekonstruiert.
- Es treten aber bei FBP und ART Kreuzartefakte auf, die bei bestimmten Anwendungen, z.B. bei Volumenfehlern, stören.
- Eine neue ART-Variante, „next to base plane-MART“, wurde vorgestellt zur Reduktion von Kreuzartefakten.
- Dazu wird eine Basisebene bestimmt, die es erlaubt, kleine Strukturen zu extrahieren.
- Die NBP-MART-Iteration wird so geführt, dass das Vorzeichen von Strukturmerkmalen relativ zur Basisebene bei der Rekonstruktion stets erhalten bleibt.

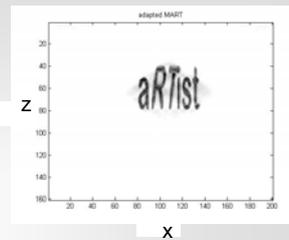
FBP



ART



NBP - MART



End

uwe.ewert@bam.de

FBP ART NBP - MART

