

DIN EN ISO 16610-29



ICS 17.040.20

Entwurf

Einsprüche bis 2019-03-11
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 16610-29:2016-04

**Geometrische Produktspezifikation (GPS) –
Filterung –
Teil 29: Lineare Profilfilter – Wavelets (ISO/DIS 16610-29:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16610-29:2019**

Geometrical product specifications (GPS) –
Filtration –

Part 29: Linear profile filters – Wavelets (ISO/DIS 16610-29:2019);
German and English version prEN ISO 16610-29:2019

Spécification géométrique des produits (GPS) –
Filtrage –

Partie 29: Filtres de profil linéaires – Ondelettes splines (ISO/DIS 16610-29:2019);
Version allemande et anglaise prEN ISO 16610-29:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-01-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an natg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 54 Seiten

DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16610-29:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 213 „Dimensional and geometrical product specifications and verification“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 290 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 152-03-03 AA „Oberflächen“ im DIN-Normenausschuss Technische Grundlagen (NATG).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 14638:2015	siehe	DIN EN ISO 14638:2015-12
ISO 16610-1	siehe	DIN EN ISO 16610-1
ISO 16610-20	siehe	DIN EN ISO 16610-20
ISO 16610-22	siehe	DIN EN ISO 16610-22
ISO/IEC Guide 99:2007	siehe	Internationales Wörterbuch der Metrologie (VIM):2007-12 ^{*)}

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 16610-29:2016-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Titel geändert;
- b) Anwendungsbereich und gesamte Norm geändert bezüglich biorthogonaler Wavelets;
- c) Norm redaktionell überarbeitet.

^{*)} Zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 13627 Berlin, Best.-Nr. 22472, ISBN 978-3-410-22472-3.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 14638:2015-12, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Matrix-Modell (ISO 14638:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14638:2015 (ISO 14638:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14638:2015*

DIN EN ISO 16610-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Filterung — Teil 1: Überblick und grundlegende Konzepte*

DIN EN ISO 16610-20, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Filterung — Teil 20: Lineare Profilfilter: Grundlegende Konzepte*

DIN EN ISO 16610-21, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Filterung — Teil 21: Lineare Profilfilter: Gauß-Filter*

DIN EN ISO 16610-22, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Filterung — Teil 22: Lineare Profilfilter: Spline-Filter*

VIM:2007-12, *Internationales Wörterbuch der Metrologie*

— Leerseite —

Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Filterung — Teil 29: Lineare Profilfilter — Wavelets (ISO/DIS 16610-29:2019)

Spécification géométrique des produits (GPS) — Filtrage — Partie 29 : Filtres de profil linéaires — Ondelettes splines (ISO/DIS 16610-29:2019)

Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 29: Linear profile filters — Wavelets (ISO/DIS 16610-29:2019)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Allgemeine Beschreibung des Wavelets	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Grundlegende Verwendung von Wavelets	9
4.3 Wavelet-Transformation	10
4.4 Biorthogonale Wavelets	11
4.4.1 Kubisches Vorhersage-Wavelet	11
4.4.2 Kubische B-Spline-Wavelets	11
5 Filterkennzeichnung	11
Anhang A (normativ) Kubische Vorhersage-Wavelets	12
A.1 Allgemeines	12
A.2 Unterteilung	12
A.3 Vorhersage	13
A.4 Aktualisierung	14
A.5 Vorwärts- und inverse Transformation	15
A.6 Beispiele für die Anwendung kubischer Vorhersage-Wavelets	16
A.6.1 Profil von einer gefrästen Oberfläche	16
A.6.2 Profil von einer keramischen Oberfläche	18
Anhang B (normativ) Kubische B-Spline-Wavelets	20
B.1 Implementierung einer B-Spline-Wavelet-Transformation	20
B.2 Beispiele für die Anwendung von kubischen B-Spline-Wavelets	21
B.2.1 Profil von einer gebohrten Oberfläche	21
B.2.2 Profil von einer gedrehten Oberfläche	22
Anhang C (informativ) Zusammenhang mit dem Filter-Matrix-Modell	23
C.1 Allgemeines	23
C.2 Position im Filter-Matrix-Modell	23
Anhang D (informativ) Zusammenhang mit dem GPS-Matrix-Modell	24
D.1 Allgemeines	24
D.2 Informationen über dieses Dokument und seine Verwendung	24
D.3 Position im GPS-Matrix-Modell	24
D.4 Betroffene Internationale Normen	24
Literaturhinweise	25

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 16610-29:2019) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 213 „Dimensional and geometrical product specifications and verification“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 290 „Geometrische Produktspezifikationen und -prüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 16610-29:2015 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 16610-29:2019 wurde von CEN als prEN ISO 16610-29:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist das Technische Komitee ISO/TC 213, *Dimensional and geometrical product specifications and verification*.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 16610-29:2015), die technisch überarbeitet wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 16610 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Dieses Dokument ist eine Norm für die geometrische Produktspezifikation (GPS) und ist als eine allgemeine GPS-Norm anzusehen (siehe ISO 14638). Es beeinflusst die Kettenglieder C und F der Normenketten zur Oberflächenbeschaffenheit: Profil und zur Oberflächenbeschaffenheit: flächenhaft.

Das in ISO 14638 angegebene ISO/GPS-Matrix-Modell gibt einen Überblick über das ISO/GPS-System, von dem dieses Dokument ein Bestandteil ist. Die in ISO 8015 angegebenen grundlegenden Regeln von ISO/GPS gelten für dieses Dokument. Sofern nicht anders angegeben, gelten die Default-Entscheidungsregeln nach ISO 14253-1 für Spezifikationen, die in Übereinstimmung mit diesem Dokument festgelegt wurden.

Für ausführlichere Informationen über den Zusammenhang dieses Dokuments mit anderen Normen und dem GPS-Matrix-Modell siehe Anhang D.

Dieses Dokument entwickelt die Terminologie und die Konzepte für Wavelets.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt biorthogonale Wavelets für Profile fest und enthält die entsprechenden Konzepte. Es gibt die grundlegende Terminologie für biorthogonale Wavelets mit kompaktem Träger, gemeinsam mit ihrer Verwendung, an.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 16610-1, *Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 1: Overview and basic concepts*

ISO 16610-20, *Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 20: Linear profile filters: Basic concepts*

ISO 16610-22, *Geometrical product specifications (GPS) — Filtration — Part 22: Linear profile filters: Spline filters*

ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/IEC Guide 99, ISO 16610-1, ISO 16610-20, ISO 16610-22 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfübar unter <http://www.electropedia.org>

3.1 Wavelet-Basisfunktion
Funktion einer oder mehrerer Variablen, die den Grundbaustein für die Wavelet-Analyse bildet, d. h. eine Erweiterung eines Signals/Profils als lineare Kombination von Wavelets

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Wavelet-Basisfunktion, die bei der Integration üblicherweise den Wert null ergibt, ist im Raum lokalisiert, und hat eine endliche Bandbreite. Bild 1 zeigt ein Beispiel für eine reellwertige Wavelet-Basisfunktion.

3.1.1 biorthogonales Wavelet

Wavelet, bei dem die zugehörige Wavelet-Transformation invertierbar, aber nicht unbedingt orthogonal ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Vorzug biorthogonaler Wavelets besteht darin, dass es möglich ist, symmetrische Wavelet-Funktionen zu konstruieren, was ein linearphasiges Filter ermöglicht.

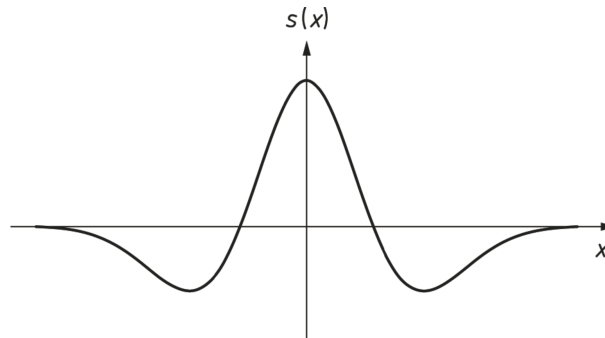


Bild 1 — Beispiel für eine reellwertige Wavelet-Basisfunktion

3.2

Wavelet-Familie

$g_{a,b}$

Familie von Funktionen, aus einer *Wavelet-Basisfunktion* (3.1) durch Dilatation und Translation erzeugt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn $g(x)$ die Wavelet-Basisfunktion ist, dann wird die Wavelet-Familie $g_{a,b}(x)$ folgendermaßen erzeugt:

$$g_{a,b}(x) = a^{-0,5} \times g\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (1)$$

Dabei ist

a der Dilatationsparameter für das Wavelet des Frequenzbandes $[1/a, 2/a]$;

b der Translationsparameter.

3.2.1

Dilatation

<Wavelet> Transformation, welche die räumliche Variable x mit dem Faktor a skaliert

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Transformation ändert die Funktion $g(x)$ für eine beliebige positive, reelle Zahl a zu $a^{-0,5}g(x/a)$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Faktor $a^{-0,5}$ hält die Fläche unter der Funktion konstant.

3.2.2

Translation

Transformation, welche die räumliche Position einer Funktion um eine reelle Zahl b verschiebt

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Transformation ändert die Funktion $g(x)$ für eine beliebige reelle Zahl b zu $g(x-b)$.

3.3

diskrete Wavelet-Transformation

eindeutige Zerlegung eines Profils in eine Linearkombination einer *Wavelet-Familie* (3.2), wobei die *Translationsparameter* (3.2.2) ganze Zahlen und die *Dilatationsparameter* (3.2.1) Potenzen einer festen positiven ganzen Zahl größer als 1 sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Dilatationsparameter sind üblicherweise Potenzen von 2.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im restlichen Teil dieses Dokuments wird durchgehend die diskrete Wavelet-Transformation nur als Wavelet-Transformation bezeichnet.

3.4

Analyse durch Vielfachauflösung

Zerlegung eines Profils durch eine Filterbank in Anteile unterschiedlicher Skalen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anteile bei unterschiedlichen Skalen werden auch als Auflösungen bezeichnet (siehe ISO 16610-20).

Anmerkung 2 zum Begriff: Analyse durch Vielfachauflösung wird auch als Multiskalenanalyse bezeichnet.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 2.

Anmerkung 4 zum Begriff: Da es der Definition nach keinen Informationsverlust gibt, ist es möglich, das ursprüngliche Profil aus der Leiter-Struktur der Vielfachauflösung zu rekonstruieren.

3.4.1

Tiefpass-Komponente

Komponente, die nach einer Faltung mit einem Glättungsfilter (Tiefpass) und einer Dezimierung erhalten wird

3.4.2

Hochpass-Komponente

Komponente, die nach einer Faltung mit einem Differenzfilter (Hochpass) und einer Dezimierung erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Gewichtsfunktion des Differenzfilters wird durch das Wavelet aus einer besonderen Familie von Wavelets mit einem besonderen Dilatationsparameter und ohne Translation festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Filterkoeffizienten erfordern die Bewertung eines Integrals über einen kontinuierlichen Raum, es sei denn, es gibt eine komplementäre Funktion zur Bildung der Basis für die Erweiterung des Signals/Profils.

3.4.3

Leiter-Struktur der Vielfachauflösung

Struktur, die aus allen Ordnungen der Differenz-Komponenten und der glatten Komponente höchster Ordnung besteht

3.4.4

Skalierungsfunktion

Funktion, welche die Gewichtsfunktion des Glättungsfilters festlegt, das verwendet wird, um die glatte Komponente zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Um bei der Leiter-Struktur der Vielfachauflösung einen Informationsverlust zu vermeiden, werden das Wavelet und die Skalierungsfunktion aneinander angepasst.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Tiefpass-Komponente wird durch Faltung der Eingangsdaten mit der Skalierungsfunktion erhalten.

3.4.5

Wavelet-Funktion

Funktion, welche die Gewichtsfunktion des Differenzfilters festlegt, das verwendet wird, um die Detail-Komponente zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Hochpass-Komponente wird durch Faltung der Eingangsdaten mit der Wavelet-Funktion erhalten.

3.4.6

Dezimierung

<Wavelet> Vorgehensweise, die jeden k -ten Punkt des abgetasteten Profils erfasst, wobei k eine positive ganze Zahl ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Üblicherweise ist k gleich 2.

3.5

Synthese durch Vielfachauflösung

Rekonstruktion eines Profils durch Anpassung der Filterbank an die Analyse-Filterbank

3.6

Lifting-Schema

schnelle Wavelet-Transformation, bei der die Stufen Unterteilung, Vorhersage und Aktualisierung genutzt werden

3.6.1

Stufe der Unterteilung

Unterteilung eines Profils in „geradzahlige“ und „ungeradzahlige“ Teilmengen, wobei jede Folge halb so viele Abtastwerte enthält wie das ursprüngliche Profil

3.6.2

Stufe der Vorhersage

Berechnung, bei der die ungeradzahlige Teilmenge aus der geradzahligen Teilmenge vorhergesagt und dann der vorhergesagte Wert aus dem Wert der ungeradzahligen Teilmenge entfernt wird

3.6.3

Stufe der Aktualisierung

Berechnung, bei der die geradzahlige Teilmenge aus der ungeradzahligen Teilmenge aktualisiert wird, um so viele Momente des Profils wie möglich zu bewahren

4 Allgemeine Beschreibung des Wavelets

4.1 Allgemeines

Ein kubisches Vorhersage-Wavelet, das beansprucht, diesem Dokument zu entsprechen, muss der in Anhang A angegebenen Verfahrensweise entsprechen.

Ein kubisches Spline-Wavelet, das beansprucht, diesem Dokument zu entsprechen, muss der in Anhang B angegebenen Verfahrensweise entsprechen.

ANMERKUNG Ein Begriffsdiagramm für die Konzepte für Wavelets ist in Anhang C angegeben, und der Zusammenhang zum Filter-Matrix-Modell ist in Anhang D angegeben.

4.2 Grundlegende Verwendung von Wavelets

Die Wavelet-Analyse umfasst die Zerlegung eines Profils in eine Linearkombination von Wavelets $g_{a,b}(x)$, die alle aus einer einzelnen Wavelet-Basisfunktion erzeugt worden sind [2]. Dies ist ähnlich zur Fourier-Analyse, die ein Profil in eine Linearkombination von Sinuswellen zerlegt, aber im Unterschied zur Fourier-Analyse sind Wavelets sowohl in der räumlichen als auch der Frequenzdomäne endlich. Daher können sie sowohl den Ort als auch die Skala eines Geometrieelementes in einem Profil identifizieren. Als Ergebnis können sie Profile zerlegen, bei denen eine kleinskalige Struktur in einem Anteil des Profils ohne Beziehung zur Struktur in einem davon differierenden Anteil ist, wie lokalisierte Änderungen (d. h. Kratzer, Fehler oder sonstige Unregelmäßigkeiten). Wavelets sind auch ideal für nicht-stationäre Profile geeignet. Grundsätzlich zerlegen Wavelets ein Profil in Bausteine konstanter Gestalt, aber verschiedener Skalen.

4.3 Wavelet-Transformation

Die diskrete Wavelet-Transformation [3] eines Profils $s(x)$, das in Form von Höhenwerten $s(x_i)$ bei gleichmäßigen Abtastpositionen $x_i = (i - 1) \Delta x$ gegeben ist, (wobei Δx das Abtastintervall, $i = 1, \dots, n$ und n die Anzahl der Abtastpunkte ist) mit der Wavelet-Funktion $g[(x - b)/a]$ ist durch die Differenzen (oder Details) $d_k(i)$ und die geglätteten Daten $s_k(i)$ sowie eine nachfolgende Dezimierung (Downsampling) für jede Ebene oder Leitersprosse k der Zerlegung gegeben. Die geglätteten Daten und Differenzen werden durch Falten des Signals mit der Skalierungsfunktion h und dem Wavelet g erhalten:

$$s_k(i) = \sum_j h_j s_{k-1}(i - j) \text{ und } d_k(i) = \sum_j g_j s_{k-1}(i - j) \quad (2)$$

Dabei ist

$$j = -m, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, m.$$

Die Dilationskonstante a wird durch die Zerlegungsebene k und durch Downsampling der geglätteten Daten gewöhnlich mit einem Faktor von zwei ermittelt, d. h. $a = 2^{-k}$ bzw. $a = 1/(2^k \Delta x)$, so dass sich für jeden Schritt auf der Zerlegungsleiter die Anzahl der geglätteten Datenpunkte um einen Faktor von zwei verringert.

Die Zerlegung beginnt mit den ursprünglichen Signalwerten $s(x_i)$, die als $s_0(i)$ bezeichnet werden.

Die Wavelet-Basisfunktion der diskreten Wavelet-Transformation ist festgelegt als Menge diskreter Hochpassfilter-Koeffizienten g_j , und die Skalierungsfunktion als Menge diskreter Tiefpassfilter-Koeffizienten h_j . Da die Dezimierung durchgeführt wird, indem jeder zweite Wert des glatten und jeder zweite Wert des Differenzsignals beibehalten werden, wird die Gesamtanzahl an Datenpunkten beibehalten, so dass $n/2$ von $s_1(i)$ und $n/2$ von $d_1(i)$ bewahrt bleiben und der Abstand zwischen dem i -ten und dem $(i + 1)$ -ten Wert dann $2\Delta x$ beträgt.

Beim zweiten Zerlegungsschritt wird die Menge von $n/2$ -Differenzen $d_1(i)$ bis zum Ende beibehalten, aber die Menge von $s_1(i)$ wird zu gleichen Teilen so unterteilt, dass $n/4$ -Werte von $s_2(i)$ und $n/4$ -Werte von $d_2(i)$ erhalten werden. Für den k -ten Schritt der Zerlegung und Dezimierung werden die Werte $n/2^k$ von $s_k(i)$ und $n/2^k$ von $d_k(i)$ bewertet, und der Abstand zwischen dem i -ten und dem $(i + 1)$ -ten Wert beträgt dann $2^k \Delta x$.

Daher erfolgt die Dilatation durch Downsampling, d. h. eher durch Steuern der Indizes des Signals als durch Änderung der Wavelet- und Skalierungsfunktionen. Deshalb legen bei diskreten Wavelet-Transformationen ausschließlich die beiden Mengen von Filterkoeffizienten, die Menge $\{h_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$ für den Tiefpassfilter und $\{g_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$ für den Hochpassfilter das Analysefilter fest.

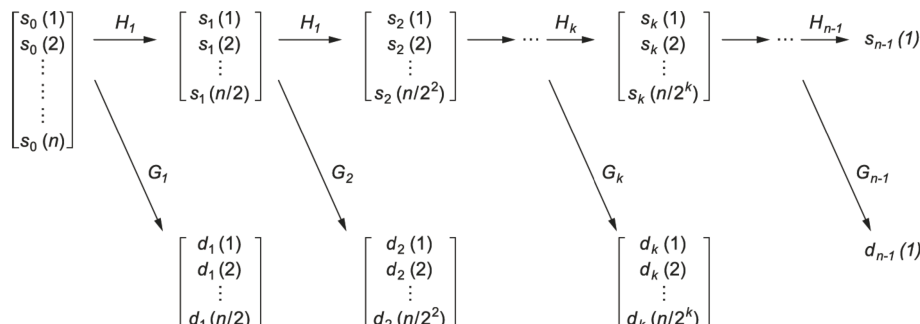


Bild 2 — Leiterstruktur der Zerlegung durch Vielfachauflösung unter Verwendung einer diskreten Wavelet-Transformation

Bild 2 veranschaulicht die Leiterstruktur der aufeinander folgenden Schritte mit Wirkung des Tiefpassfilters (Glättung) mit anschließender Dezimierung $H_k = \{2^{-k}, h_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$, und des Hochpassfilters $G_k = \{2^{-k}, g_j, j = -m, \dots, 0, \dots, m\}$ mit Dezimierung, wobei die Anzahl glatter Profilpunkte für jede Sprosse um die Hälfte verringert wird.

Die Rekonstruktion erfolgt durch Upsampling und die anschließende Anwendung der passenden Synthesefilter. Das ursprüngliche Profil kann wiederhergestellt werden, wenn alle Differenzsignale in die Wiederherstellung einbezogen werden.

Die Form der Vielfachauflösung der Wavelet-Transformation besteht in der Konstruktion einer Leiter von glatten Annäherungen an das Profil (siehe Bild 2). Die erste Sprosse, d. h. Sprosse Nummer 0 ist das ursprüngliche Profil. Jede Sprosse in der Leiter besteht aus einer Filterbank. Um diskrete Wavelet-Transformationen auf das Konzept der Vielfachauflösung im Sinne von ISO 16610-20 anzuwenden, wird eine Zerlegung bis zu einer gewünschten Ebene k , d. h. Sprosse oder Auflösung, durchgeführt. Anschließend wird das Signal ohne die Details $d_1(i) \dots d_k(i)$ rekonstruiert, d. h. das Upsampling erfolgt für $s_k(i)$, und danach erfolgt die Faltung mit dem Synthese-Tiefpassfilter, wodurch sich das gewünschte geglättete Signal ergibt.

4.4 Biorthogonale Wavelets

Die in dieser Norm behandelte Anwendung besteht darin, Geometrieelemente unterschiedlicher Skalen (Auflösungen) durch entsprechende Glättung zu erkennen. Bei den in dieser Norm festgelegten biorthogonalen Wavelets handelt es sich ausschließlich um symmetrische Wavelets, und das zerlegte Signal kann ohne Verlust rekonstruiert werden.

4.4.1 Kubisches Vorhersage-Wavelet

Eine schnelle Implementierung der Wavelet-Zerlegung und -Rekonstruktion wird unter Nutzung eines Lifting-Schemas angewendet, das drei Stufen umfasst: die Unterteilung, die Vorhersage und die Aktualisierung, welches ursprünglich von Sweldens eingeführt wurde und in dem für die Implementierung der Vorhersage-Stufe die Polynome nach Neville angewendet werden, durch Interpolation zwischen Abtastpositionen [4] [5]. Das in Anhang A beschriebene kubische Vorhersage-Wavelet wurde unter Anwendung des Lifting-Schemas nach Sweldens [4] als leistungsfähiges Werkzeug für schnelle Inplace-Wavelet-Transformationen für geometrische Produkt-Anwendungen, z. B. die Oberflächen-Metrologie [7], validiert.

4.4.2 Kubische B-Spline-Wavelets

Spline-Wavelets basieren auf der Spline-Funktion. In dieser Norm wird eine kubische B-Spline-Funktion angewendet, die einen kompakten Träger hat. Speziell handelt es sich bei dem verwendeten kubischen Spline-Wavelet um das biorthogonale CDF-9/7-Wavelet mit vier verschwindenden Momenten, das in Anhang B angegeben ist. Dieses wurde ursprünglich von **Cohen-Daubechies-Feauveau** [6] eingeführt und wird für geometrische Produktanwendungen, z. B. Multiskalen-Analyse, angewendet. Die kubische Spline-Wavelet-Transformation kann sowohl mit dem Verfahren nach Fourier als auch mit dem Lifting-Schema (wobei es sich jedoch um fünfstufige Prozesse handelt) mit entsprechender Präzision implementiert werden.

5 Filterkennzeichnung

Filter nach dem Lifting-Schema unter Anwendung einer kubischen Interpolation für die Wavelet-Transformation in Übereinstimmung mit diesem Dokument werden gekennzeichnet mit

FPLWCP

CDF-9/7-Spline-Wavelets in Übereinstimmung mit diesem Dokument werden gekennzeichnet mit

FPLWCS

Siehe auch ISO 16610-1:2015, Abschnitt 5.

Anhang A (normativ)

Kubische Vorhersage-Wavelets

A.1 Allgemeines

Das Lifting-Schema wird verwendet, um eine schnelle Inplace-Wavelet-Transformation festzulegen (siehe [7] bis [9]). Beginnend beim ursprünglichen abgetasteten Profil wird jede Sprosse der Leiter der Vielfachauflösung aus der jeweils vorhergehenden Sprosse in drei Stufen berechnet. Diese Stufen werden wie folgt bezeichnet:

- Unterteilung;
- Vorhersage;
- Aktualisierung.

Das in diesem Anhang beschriebene Lifting-Schema unter Anwendung einer kubischen Polynom-Interpolation für die Vorhersage-Stufe wurde 1996 von Sweldens [7] [8] für Bildverarbeitungszwecke eingeführt. Jiang et al. haben das Verfahren für die Oberflächen-Metrologie angewendet [9] (siehe Bild A.1).

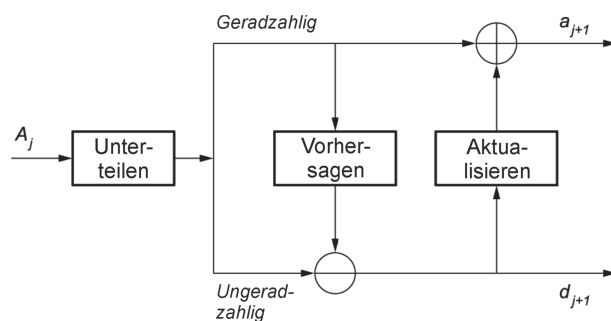


Bild A.1 — Vorwärts-Transformation unter Anwendung des Lifting-Schemas für das in diesem Anhang festgelegte Wavelet

A.2 Unterteilung

Der Lifting-Algorithmus der Wavelet-Transformation unterteilt zuallererst das geglättete Profil der j -ten Sprosse $A_{j,k}$ in „geradzahlige“ und „ungeradzahlige“ Teilmengen, in denen jede Folge halb so viele Abtastwerte enthält wie $A_{j,k}$. Der Operator ist gegeben durch:

$$\begin{cases} a_{j+1,k} = A_{j,2k} \\ d_{j+1,k} = A_{j,2k+1} \end{cases} \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$$A_{0,k} = Z_k \quad \text{das ursprüngliche abgetastete Profil.}$$

A.3 Vorhersage

Die Vorhersage des Wavelet-Algorithmus besteht darin, die ungeradzahlige Teilmenge aus der geradzahligen Teilmenge vorherzusagen und dann den vorhergesagten Wert aus dem Wert der ungeradzahligen Teilmenge zu entfernen. Der Operator ist gegeben durch:

$$d_{j+1,k} = d_{j+1,k} - \rho(a_{j+1,k}) \quad (\text{A.2})$$

Für die Familie von kubischen interpolierenden Wavelets werden lineare Polynome für die Vorhersage verwendet. $\rho(a_{j+1,k})$ ist eine gewichtete Vorhersage eines Wavelet-Koeffizienten-Punktes, gegeben durch:

$$\rho(a_{j+1,k}) = \sum_{i=1}^N f_i(a_{j+1,k}) \quad (\text{A.3})$$

Der Wert von $\rho(a_{j+1,k})$ beruht auf der geradzahligen Menge, wobei N bezeichnet, wie viele Datenpunkte an der gewichteten Vorhersage teilnehmen werden. f_i ist eine Menge von filternden Faktoren (Gewichtsfunktion) eines Wavelet-Koeffizienten-Punktes, und kann durch die Anwendung einer „Nevilleschen Polynom-Interpolation“ (siehe [4] [5] [6]) mit einem Grad $(N-1)$ mit der folgenden Rekursion gefunden werden:

$$f_i = f_{1,2,\dots,N}(x) = \frac{(x - x_1)f_{2,\dots,N}(x) - (x - x_N)f_{1,2,\dots,N-1}}{(x_N - x_1)} \quad (\text{A.4})$$

Die Anfangskoeffizienten $f_1, f_2, \dots, f_N$ sind eine Menge von Bezier-Koeffizienten einer Spline-Interpolation mit dem Grad $(N-1)$.

Wenn beispielsweise eine kubische Interpolation ($N=4$) angewendet wird, um eine Gewichtsfunktion zu erzeugen, nehmen vier benachbarte Werte an einer gewichteten Vorhersage teil. Fünf Fälle sollten berücksichtigt werden:

- a) zwei benachbarte Punkte auf jeder Seite eines Intervalls;
- b) ein Abtastpunkt links und drei rechts auf der linken Grenze eines Intervalls;
- c) umgekehrt auf der rechten Grenze;
- d) vier Abtastpunkte links; und
- e) vier Abtastpunkte rechts.

Diese Fälle werden in Betracht gezogen, um die „Natürlichkeit“ der Grenze zu garantieren, ohne irgendwelche Artefakte einzuschließen (alle filternden Faktoren sind in Tabelle A.1 angegeben). Das Ergebnis davon ist, das Einlauf- und Auslaufängen der normalen Filtertechniken nicht benötigt werden.

Tabelle A.1 — Filterkoeffizienten für die kubische Polynominterpolation

Anzahl der Abtastwerte		$k-7$	$k-5$	$k-3$	$k-1$	$k+1$	$k+3$	$k+5$	$k+7$
links	rechts								
0	4					2,187 5	-2,187 5	1,312 5	-0,312 5
1	3				0,312 5	0,937 5	-0,312 5	0,062 5	
2	2			-0,063	0,562 5	0,562 5	-0,063		
3	1		0,062 5	-0,312 5	0,937 5	0,312 5			
4	0	-0,312 5	1,312 5	-2,187 5	2,187 5				