

OPTIMIERUNG VON WMS-DIENSTEN DURCH MODERNE RASTERBILDFORMATE: EIN PERFORMANCEVERGLEICH KLASSISCHER UND AKTUELLER FORMATE AM BEISPIEL MAPSERVER

Steffen Neubauer

Zusammenfassung: Der Web Map Service (WMS) ist ein zentraler Standard zur Bereitstellung georeferenzierter Kartenbilder. Die verwendeten Rasterbildformate beeinflussen dabei entscheidend die Effizienz der Datenübertragung. Dieser Beitrag untersucht, inwieweit moderne Rasterbildformate wie WebP und Mixed-Mode-Formate klassische Formate wie JPEG und PNG in WMS-Diensten ersetzen oder ergänzen können. Hierzu wurden praxisnahe Performancevergleiche in produktiven Umgebungen mit realen Bandbreiten (6 Mbit/s und 50 Mbit/s) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen signifikante Vorteile aktueller Rasterbildformate hinsichtlich Dateigröße, Antwortzeit und Transparenzunterstützung. Besonders WebP und Mixed-Mode-Formate zeichnen sich durch hohe Effizienz und Flexibilität aus. Der Beitrag liefert konkrete Empfehlungen zur Integration moderner Rasterbildformate in bestehende WMS-Dienste und Kartenanwendungen.

Schlüsselwörter: WMS, Rasterbildformate, JPEG, PNG, WebP, Mixed-Mode

OPTIMIZING WMS SERVICES USING MODERN RASTER IMAGE FORMATS: A PERFORMANCE COMPARISON OF CLASSIC AND CURRENT FORMATS USING MAPSERVER AS AN EXAMPLE

Abstract: This study analyzes how modern raster image formats such as WebP and mixed-mode formats can improve the efficiency of the Web Map Service (WMS). Through real-world performance comparisons based on bandwidths of 6 Mbit/s and 50 Mbit/s, metrics such as file size, response time, and transparency capability were evaluated. Results indicate that WebP and mixed-mode raster image formats clearly outperform traditional raster image formats as JPEG and PNG. These newer formats offer superior compression rates and faster WMS response times. Integration of these raster image formats is recommended to optimize existing geospatial data infrastructures and map applications.

Keywords: WMS, raster image formats, JPEG, PNG, WebP, mixed-mode

1 EINLEITUNG

Der WMS-Standard des Open Geospatial Consortiums (OGC) ist seit über zwei Jahrzehnten fester Bestandteil gängiger Geodateninfrastrukturen. Die darin unterstützten klassischen Rasterbildformate wie JPEG und PNG sind zwar weit verbreitet, können jedoch in puncto Datenvolumen und Effizienz modernen Anforderungen nicht immer gerecht werden. Diese Studie untersucht, ob aktuelle Rasterbildformate wie WebP oder Mixed-Mode-Rasterbildformate eine bessere Performance für WMS-Dienste bieten und dabei gleichzeitig die Spezifikation des WMS 1.3.0 (Beaujardiere 2006) einhalten.

2 STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Dieser Beitrag basiert auf den Ergebnissen der Masterarbeit „Untersuchung des Web Map Service Standards auf aktuelle Rasterbildformate und Alternativen“ (Neubauer 2024), die sich mit der

Leistungsbewertung aktueller Rasterbildformate im Kontext von WMS-Diensten befasst und die für Web-GIS-Systeme in einem

Autor

M. Eng. Steffen Neubauer

Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz

Dezernat 35: IT-Geoinformation

Von-Kuhl-Straße 49

D-56070 Koblenz

E: steffen.neubauer@vermkv.rlp.de

ORCID: 0009-0009-5913-6379

Standard-Webbrowser zur Kartenübertragung genutzt werden können.

Das OGC hat den WMS-Standard mit der Version 1.3.0 aus dem Jahr 2006 (Beaujardiere 2006) nicht weiter fortgeschrieben, sondern entwickelte zugunsten der OGC-API-Familie (OGC 2025) als neue Schnittstelle zur Kartenübertragung den „OGC API Maps“-Standard. Dieser wurde vom OGC im letzten Jahr verabschiedet und ist seit August 2024 in der Version 1.0 veröffentlicht (Masó & Jacovella-St-Louis 2024).

2.1 RASTERBILDFORMATE

Bei der Übertragung von Rasterbildern per WMS kommen verschiedene Rasterbildformate zum Einsatz, die jeweils ihre spezifischen Eigenschaften und Anwendungsbereiche haben. Es werden für diese Untersuchung nur Rasterbildformate bewertet, die auch im Webbrowser für Web-GIS-Systeme genutzt werden können. Zwei der am weitesten verbreiteten Rasterbildformate sind JPEG (Joint Photographic Experts Group) und PNG (Portable Network Graphics). JPEG ist ein verlustbehaftetes Rasterbildformat, das eine effiziente Kompression bietet und daher häufig für digitale Bilder verwendet wird, wie z. B. Luftbilder. Es ermöglicht, die Dateigröße erheblich zu reduzieren, was jedoch auf Kosten einer Qualitätsminderung geschieht, insbesondere bei stark komprimierten Bildern. Das Rasterbildformat PNG hingegen ist ein verlustfreies Format, das eine transparente Hintergrunddarstellung unterstützt und daher häufig für Grafiken und Bilder verwendet wird oder für digitale Karten, die als Folien Grundkarten überdecken. Außerdem kann es sinnvoll sein, digitale Orthophotos im PNG-Rasterbildformat zu übermitteln, wenn angrenzende Layer sich nicht überdecken dürfen, denn PNG unterstützt Transparenz. Im Vergleich zu JPEG erzeugt PNG in der Regel ein größeres Datenvolumen, behält jedoch die Bildqualität ohne Kompressionsartefakte bei. Das PNG-Rasterbildformat kann in verschiedenen Varianten genutzt werden, zum Beispiel einer 8-bit-Ausgabe mit einer Farbpalette von 256 Farben und Transparenz oder einer 24-bit-Ausgabe mit 16,7 Mio. Farben und Transparenz. Wird ein Bild mit mehr als 256 Farben in eine 8-bit-PNG-Ausgabe abgespeichert, entscheidet ein Algorithmus über die Reduzierung der Farbwerte. Damit entstehen bei der Speicherung selbstverständlich nicht wiederherstellbare Verluste, dies senkt jedoch den Speicherbedarf erheblich. Darüber hinaus gibt es weitere Rasterbildformate, die

je nach Anforderungen und Anwendungen eingesetzt werden können. Dazu gehört das ältere Rasterbildformat GIF (Graphics Interchange Format), das vor allem für animierte Bilder verwendet wird, aber auch für Bilder mit wenig Farben und transparentem Hintergrund zum Einsatz kommen kann (Miano 1999).

Auf der Zeitachse in Abbildung 1 ist eine umfassende Auswahl an neuen Rasterbildformaten mit ihrem Erscheinungsjahr dargestellt. Es ist zu sehen, dass es eine kontinuierliche Entwicklung an Rasterbildformaten gibt. Dabei wurden JPEG-XR aus dem Jahr 2015 und JPEG-XS aus dem Jahr 2019 nicht gesondert dargestellt, weil beide Verfahren neben JPEG-XR auch im JPEG-XL-Rasterbildformat integriert sind. Die Entwicklung um das Format HEIC (High Efficiency Image Container)/HEIF (High Efficiency Image File Format) aus dem Entstehungsjahr 2015 wurden nicht weiter untersucht, da es mit Lizenzen belegt ist (Sneyers 2020).

Zur Unterstützung der Auswahl werden die in Tabelle 1 genannten Forschungsarbeiten herangezogen, die sich mit Vergleichen von Rasterbildformaten in den letzten Jahren beschäftigt haben. Nach einer Summierung der jeweiligen untersuchten Rasterbildformate aus Tabelle 1, Zeile 13, wird deutlich, dass die entwickelten Rasterbildformate nicht gleichbedeutend sind, da nicht alle Rasterbildformate in die jeweiligen Untersuchungen aufgenommen wurden.

Nach eingehender Quellenrecherche sind folgende Rasterbildformate für eine weitere Betrachtung ungeeignet: Aktuell ist das JPEG-XR-Rasterbildformat für eine weitere Untersuchung nicht sinnvoll, da es von GIS-Software nicht ausreichend unterstützt wird und sich seit 2009 nicht als eigenständiges Rasterbildformat etabliert hat, dafür gehört es seit 2019 zum JPEG-XL-Derivat (Library of Congress Collections 2022). Das „WebP 2“-Rasterbildformat wird von Google nicht veröffentlicht und befindet sich lediglich im Experimentierstatus. Es ist damit für weitere aktuelle Untersuchungen unbrauchbar (Yannis & Maryla 2022). Das FLIF-Rasterbildformat wird nicht weiterentwickelt, ist aber in JPEG-XL integriert worden (jxl-community 2024). JPEG-LS ist wie PNG für eine verlustfreie Kompression entwickelt worden, wird aber aktuell von keinem Webbrowser unterstützt (Joint Photographic Experts Group 2024b). Damit bleiben als Ergebnis der Auswahl folgende Rasterbildformate übrig: JPEG2000, WebP, BPG, AVIF und JPEG-XL.

Ein weiterer, sehr wichtiger Aspekt für die Umsetzung in der Praxis ist der Stand der Implementierung der Rasterbildformate in

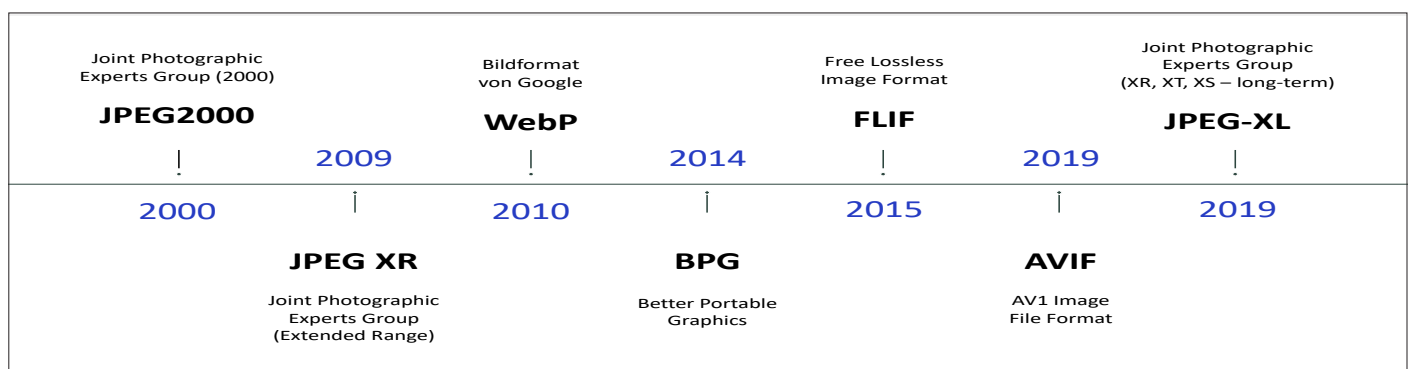


Abbildung 1: Zeitliche Entstehung neuer portabler Rasterbildformate (eigene Darstellung – Jahreszahlen JPEG2000 (Joint Photographic Experts Group 2024a), JPEG-XR (ITU-T 2009), WebP (Zota 2010), BPG (Bellard 2015), FLIF (Sneyers & Wuille 2016), AVIF (Concolato & Klemets 2019), JPEG-XL (ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 2019))

Nr.	Quelle	JPEG	PNG	JPEG2000	JPEG-XR	WebP	BPG	JPEG-XT	FLIF	AVIF	WebP 2	JPEG-LS	JPEG-XL
1	Röder 2024					×				×			×
2	Schlett et al. 2023	×	×	×									×
3	Dornauer & Felderer 2023	×	×			×				×			×
4	Rouault 2023a	×				×							×
5	Singh 2023	×	×			×				×			
6	Čepický 2023	×	×			×							
7	Barina 2021		×	×	×	×			×	×	×	×	×
8	Öztürk & Mesut 2021		×	×	×	×		×				×	×
9	Siipola 2021		×			×				×			×
10	Mandeel et al. 2021		×			×	×						×
11	Johnston et al. 2017			×		×	×						
12	Matijević et al. 2016	×				×							
13	Summe	6	8	4	2	11	2	1	1	5	1	2	8

Tabelle 1: Rasterbildformatvergleiche aus wissenschaftlichen Arbeiten

Browser \ Format	Chrome	Safari	Firefox	Edge	Opera
PNG	Seit 2010 (v4)	Seit 2008 (v3.1)	Seit 2006 (v2)	Seit 2015 (v12)	Seit 2009 (v10)
JPEG	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
TIFF		Ja			
JPEG2000		Seit 2010 (v5)			
WebP	Seit 2014 (v32)	Seit 2022 (v16)	Seit 2019 (v65)	Seit 2018 (v18)	2014 (v19)
JPEG XR				2015 – 2018 (v12 – v18)	
AVIF	Seit 2020 (v20)	Seit 2023 (v16.4)	Seit 2021 (v93)	Seit Jan. 2024 (v121)	Seit 2020 (v71)
HEIF+HEIC		Seit 2023 (v17)			
JPEG-XL		Seit 2023 (v17)			

Tabelle 2: Rasterbildformatunterstützung in Webbrowsern (Angabe Jahr und Webbrowserversion; <https://caniuse.com/?search=JPEG> (05/2024))

den verschiedenen Webbrowsern. In der Arbeit von Dornauer & Felderer (2023, S. 2) wird festgestellt, dass AVIF noch nicht offiziell von Edge unterstützt wird, nach aktueller Recherche wird AVIF aber seit Januar 2024 ab Version 121 unterstützt (Tabelle 2).

GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) ist eine freie Programmierschnittstelle für die Verarbeitung von Geodaten. Sie wird von der Open Source Geospatial Foundation herausgegeben und ist unter einer freien Lizenz verfügbar. GDAL ermöglicht das Lesen, Schreiben und Konvertieren verschiedener Raster- und Vektor-Geodatenformate. Die verwendete WMS-Implementierung „MapServer“ kann GDAL nutzen, um Rasterdatenformate zu lesen oder zu schreiben. Deshalb wird für die Auswahl der Rasterbildformate die Unterstützung durch die GDAL-Bibliothek betrachtet. Auf den Seiten „Raster drivers“ (Warmerdam & Rouault 2025,

S. 171 – 176) werden alle in GDAL implementierten Rasterformate gelistet. Zum Zeitpunkt der Untersuchung (Neubauer 2024) bestand mit der GDAL-Bibliothek kein Support für die Rasterbildformate BPG und AVIF (OSGeo 2024). Somit bleibt für diese aufgestellte Untersuchung nur WebP als geeignetes aktuelles Rasterbildformat übrig.

Das Web Picture Grafikformat (WebP) ist ein Bildkompressionsformat, das im Jahr 2010 von „On2 Technologies“ entwickelt und später von Google übernommen wurde (Zota 2010). Das Ziel war, hochaufgelöste Bilder mit reduzierter Dateigröße bereitzustellen und die Ladezeiten von Webseiten zu verbessern. Es wurde als ein offenes Bildformat eingeführt. Diese Initiative entstand vor dem Hintergrund des wachsenden Bedarfs an effizienteren Methoden zur Bereitstellung von Bildinhalten im Internet. Das

Hauptmerkmal von WebP ist eine effektive Bildkompression mit verlustbehafteter und verlustfreier Kompressionstechnik. WebP bietet auch Unterstützung für Transparenz und Animation. Ein weiteres Ziel war, schnellere Ladezeiten von Webseiten zu erreichen und dabei die Benutzererfahrung zu verbessern. Das Kompressionsergebnis ist ca. 25 % bis 34 % kleiner als die JPEG-Kompression (Google 2024a) und 60 % bis 70 % kleiner als PNG (Google 2024b). Durch die Reduzierung der Dateigröße können Webentwickler die Ladezeiten von Websites optimieren und die Bandbreitennutzung reduzieren, was insbesondere für mobile Geräte und Bereiche mit langsamer Internetverbindung wichtig ist.

Ein Ansatz, der seit 2016 in diversen Implementierungen umgesetzt ist, sich aber noch nicht durchgesetzt hat, ist das Mixed-Mode-Verfahren. Das Mixed-Mode-Verfahren bietet die Möglichkeit, abhängig vom Bedarf an Transparenz, zwischen den Rasterbildformaten JPEG oder PNG bzw. WebP zu wechseln. Das Zusammenspiel des Mixed-Mode-Verfahrens erfolgt auf Serverseite durch eine dynamische Auswahl des vorher festgelegten Rasterbildformats für Karten mit transparenten Werten und dem Rasterbildformat für Karten ohne transparente Werte. Wenn Transparenz erforderlich ist, wird z.B. das PNG-Rasterbildformat verwendet, während bei nicht transparenten Bildern das JPEG-Rasterbildformat bevorzugt wird, da JPEG eine bessere Kompression bietet. Diese dynamische Anpassung ermöglicht eine effiziente Speicherung und Übermittlung, die sich in einer verkürzten Antwortzeit für Endbenutzer niederschlägt. Dabei können die Mixed-Rasterbildformate als eigenständige Rasterbildformate neben anderen gängigen Rasterbildformaten, wie zum Beispiel JPEG, GIF, PNG, WebP und JPEG-XL, untersucht werden. Die Verbreitung des Mixed-Mode-Verfahrens ist weitreichend und findet Anwendung in verschiedenen Softwarelösungen und Frameworks für die Bereitstellung und Visualisierung von Rasterdaten. Softwareprodukte wie „MapServer“ – ‚Mixed-Mode‘ (Rouault 2016 und McKenna et al. 2023, S. 241), „GeoServer“ – ‚Smart transparency‘ (Aime 2016), „ESRI-Software“ – ‚MIXED‘ (Esri 2021) und „MapProxy“ – ‚Mixed Mode‘ (MapProxy Community 2024) nutzen das Mixed-Mode-Verfahren, um die Ausgabe und Speicherung von Karten zu optimieren und die Effizienz ihrer Anwendungen zu verbessern. Die Arbeit von Čepický (2023) setzt zum Beispiel den Mixed-Mode in Verbindung mit „GeoServer“ ein (Čepický 2023, S. 75). Das Mixed-Mode-Verfahren fungiert als Bindeglied zwischen den verschiedenen Rasterbildformaten und ermöglicht, die Vorzüge der kombiniert eingesetzten Rasterbildformate zu nutzen. Als MIME-Type wird häufig die herstellerspezifische Bezeichnung (vendor-specific (IANA 2024) MIME-Type: image/vnd.*) z.B. „image/vnd.jpeg-png“ (PNG = 24-bit-PNG-Ausgabe) verwendet oder bei einer 8-bit-PNG-Ausgabe „image/vnd.jpeg-png8“. In einer aktuellen Rasterbildformat-Kombination wird JPEG mit WebP als „image/vnd.jpeg-webp“ definiert.

2.2 WMS

Die angebotenen Rasterbildformate müssen in den Diensteigenschaften (den „Capabilities“ als XML-Dokument) in einem XML-Element (<Format></Format>) aufgelistet werden. Dabei soll mindestens ein Format angeboten werden, das Transparenz unterstützt, um verschiedene Karten überlagern zu können. Zur einfachen Nutzung soll mindestens ein Rasterbildformat angeboten werden,

das von Standard-Webbrowsern unterstützt wird. Resultierend aus den genannten Kriterien sollte ein WMS mindestens das Rasterbildformat PNG anbieten (Beaujardiere 2006, S. 14).

In der WMS-Spezifikation 1.3.0 wird im Abschnitt 6.9.3 ein Hinweis gegeben, dass ein WMS-Dienst optional neue Rasterbildformate anbieten kann, wenn Clients diese Rasterbildformate akzeptieren und verarbeiten können (Beaujardiere 2006, S. 20). Mit dieser Aussage wird für WMS-Implementierungen Freiraum gegeben, zusätzlich neue Rasterbildformate einzusetzen. Im Jahr 2010 hat z.B. eine wissenschaftliche Arbeit die Nutzung des JPEG2000-Rasterbildformats in Verbindung mit OGC-Webediensten erfolgreich nachgewiesen (Masó et al. 2010a).

2.3 MAPSERVER

Die Software „MapServer“ ist eine bekannte Open-Source-Implementierung der WMS-Spezifikation und von weiteren OGC-konformen Diensten für die Erstellung von Kartenanwendungen. Die Flexibilität von „MapServer“ ermöglicht, Karten für verschiedene Einsatzzwecke zu erstellen. Bei der Erzeugung von Kartenbildern werden „MapServer“-native Treiber verwendet oder es können die externen GDAL-Treiber genutzt werden (McKenna et al. 2023, S. 238–243). Der native AGG-Treiber ist für die Rasterbildformate JPEG und PNG performanter als der externe GDAL-Treiber. Mit den externen GDAL-Treibern können aber viele weitere Formate geschrieben werden (Warmerdam & Rouault 2025, S. 171–176). Mit „MapServer“ wird ein WMS-Dienst mit einer Konfigurationsdatei namens „Mapfile“ erzeugt. Auf der Homepage von „MapServer“ gibt es eine umfangreiche Dokumentation, wie dieses erstellt werden kann (McKenna et al. 2023, S. 79–295).

Zum Testen und Validieren von definierten Mapfiles gibt es ein Programm mit dem Namen „shp2img“ (McKenna et al. 2023, S. 1006). Damit kann ein Funktionstest auf dem Server durchgeführt werden. Mit diesem Programm ist es auch möglich, die Zeit zu messen, die der Server benötigt, um ein bestimmtes Kartenbild zu erzeugen.

3 METHODIK

Zunächst wurden relevante aktuelle Rasterbildformate identifiziert und deren Eignung anhand von Kriterien wie Kompressionsrate, Transparenzunterstützung und Softwarekompatibilität bewertet (vgl. Abschnitt 2.1). Anschließend wurden diese Formate in einer produktiven WMS-Serverumgebung mit „MapServer“ implementiert und unter realen Netzbedingungen mit Kartenbildern unterschiedlicher Größe getestet. Die verwendete Liste der Kartengrößen ist zum einen Teil aus der Arbeit von Öztürk & Mesut (2021) entnommen: 683 × 1 024, 724 × 1 024, 768 × 1 024, 776 × 1 024, 848 × 1 024, 920 × 1 024, 1 024 × 1 024, 2 048 × 1 024, 2 592 × 1 944, 2 640 × 1 980 und 3 264 × 2 448. Der andere Teil ist aus dem Ergebnis einer Ist-Analyse vom Abschnitt 4.1.3 (Neubauer 2024) zur Verteilung von Kartengrößen aus den Server-Logfiles des Geodatenservers „Geo4“ herangezogen. Zudem wird überprüft, welchen Einfluss das „HTTP-Web-Caching“ (Loechel & Schmid 2012) vom Geodatenserver „Geo4“ auf die „Slippy Map“-Kartengrößen (Peterson 2008) 256 × 256 und 512 × 512 zu Kartenblättern ohne „HTTP-Web-Caching“ 255 × 255, 511 × 511 und 400 × 600 hat. Damit ergeben sich folgende weitere Kartengrößen in Pixel: 255 × 255, 256 × 256, 400 × 600,

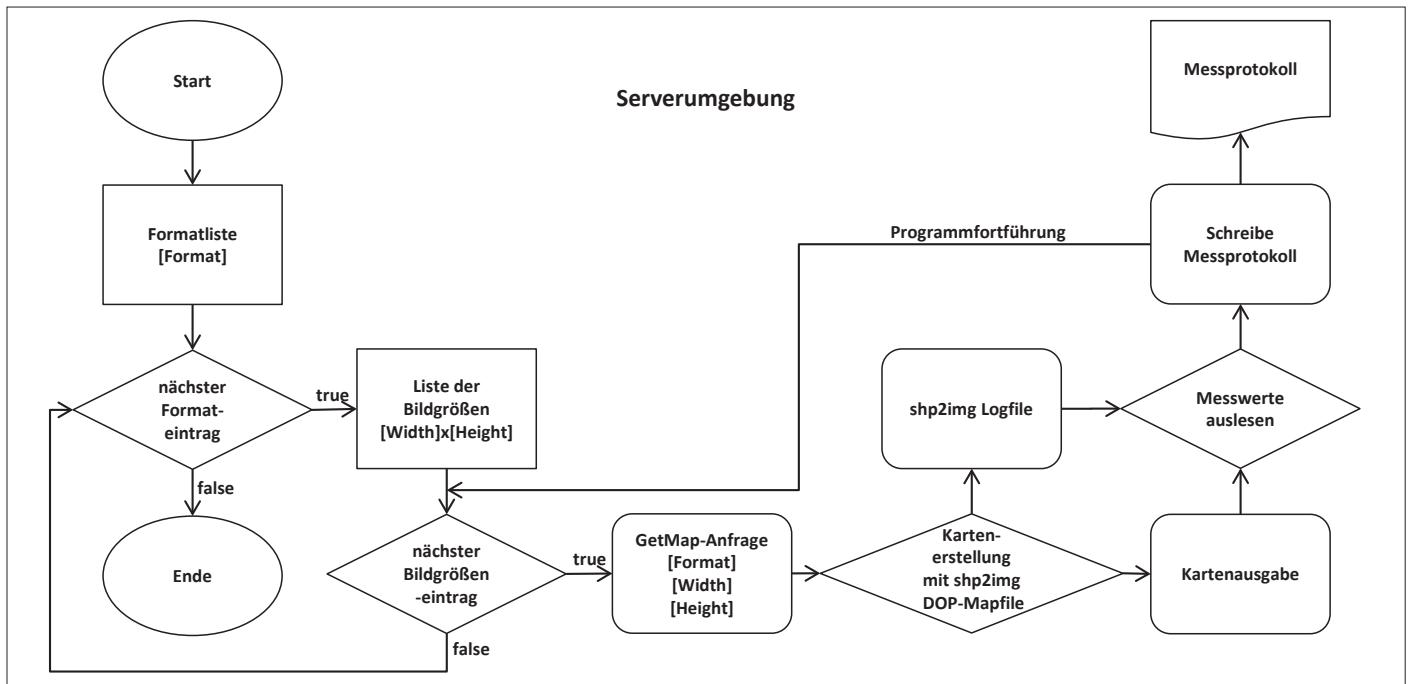


Abbildung 2: Workflow 1: serverseitige Erstellung von Kartenbildern

511 × 511, 512 × 512, 1080 × 1920 für eine praxisorientierte Untersuchung. Die Leistungskennzahlen wurden systematisch erfasst: Kartengenerierungszeit, Dateigröße, WMS-Antwortzeit sowie Kompressionsrate. Besondere Berücksichtigung fanden dabei Szenarien mit und ohne Transparenzbedarf. Dazu wurde ein Kartenbereich im Landesinneren und ein Kartenbereich an der

Landesgrenze definiert (Neubauer 2024). Mit dem Programm „shp2img“ wurde ein synthetischer Vergleich auf dem Server durchgeführt, um Erstellungszeit und Kompressionsraten der jeweiligen Rasterbildformate zu ermitteln, ohne die Netzwerkübertragung zu berücksichtigen. Dieses Ergebnis aus der Serverumgebung kann in der Auswertung mit dem Ergebnis der WMS-Benutzung

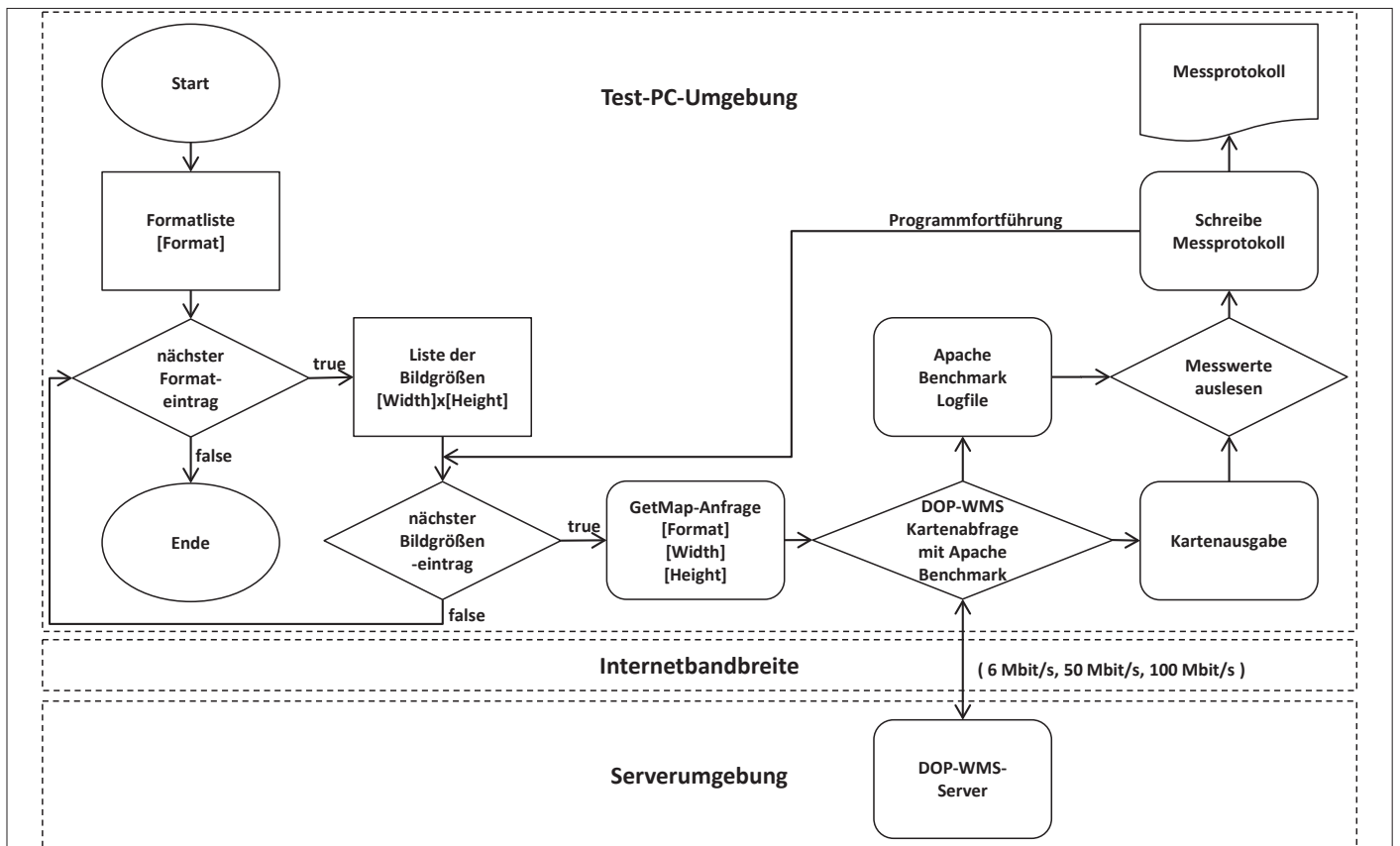


Abbildung 3: Workflow 2: WMS-Benchmark

verglichen werden, um eine unabhängige Kontrolle zu erreichen. Ein schematischer Versuchsaufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Dieser Versuchsaufbau wurde auf dem produktiven Geodaten-server „Geo4“ (Holl 2011) vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz eingesetzt. Die auf der Produktivumgebung gewonnenen Ergebnisse haben eine praxisnahe Aussagekraft und geben direkte Rückschlüsse für den Einsatz der verglichenen Rasterbildformate. Die Geodatenserverumgebung wird dabei nicht weiter beleuchtet und wird als gegeben angesehen, somit erfolgt ein Blackbox-Test. In diesem Zusammenhang wird die Software „MapServer“ als Implementierung für einen WMS-Service verwendet. Zur Generierung von Metriken und zur Durchführung objektiver Vergleiche wird das Programm „Apache Benchmark“ (Apache 2025) als geeignetes Messinstrument auf einem entfernten PC eingesetzt. Die Interaktion in der Testumgebung ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Bandbreite der Internetanbindung des Test-PC soll dem Stand der Technik entsprechen und mit mindestens zwei verschiedenen Bandbreiten erfolgen, um die Messungen gegenüberstellen zu können. Die zu verwendenden Rasterbildformate gehen aus dem WMS-Standard, dem durchgeführten Ist-Vergleich und den neuen Rasterbildformaten hervor. Die so ermittelten Rasterbildformate wurden dem WMS-Dienst „WMS_RP_DOP20“ (LVermGeo 2024), dem Luftbildprodukt für Digitale Orthophotos „ATKIS-DOP20-WMS“ (AK-GT 2020), auf dem Geodatenserver „Geo4“ für die weitere Untersuchung hinzugefügt.

4 ERGEBNISSE

Die Auswertung zeigt, dass die verwendete GDAL-Standard-WebP-Bildkompression deutlich kleinere Dateigrößen erzeugt (von 59 % bis 6 % im Vergleich zu JPEG und PNG in 8 bit bzw. 24 bit) (Tabelle 3). Diese Kompressionsdichte war bei allen 17 untersuchten Bildgrößen relativ homogen. Als Alternative unterstützen die verglichenen Mixed-Mode-Rasterbildformate eine automatische Auswahl des effizienteren Formats je nach Transparenzbedarf. Deshalb entstehen in der Tabelle 3 „100 %“-Einträge, da zum Beispiel im Vergleich von „vnd.jpeg-png“ (PNG = 24-bit-PNG-Ausgabe) für ein Kartenbild ohne Transparenz die JPEG-Kompression verwendet wird und dieses Kartenbild dann genau so viel Speicherplatz wie ein JPEG-Kartenbild benötigt. Bei allen anderen Vergleichen ist der Speicherbedarf für ein Kartenbild der jeweiligen Kompression kleiner oder größer als „100 %“.

Mit dem „MapServer“ eigenen Testwerkzeug „shp2img“ wurde verglichen, wie sich die neuen Rasterbildformate zu den klassischen Rasterbildformaten JPEG und PNG auf Serverseite verhalten. Leider unterstützt „shp2img“ keine Mixed-Mode-Bildformate, deshalb sind in der Tabelle 4 diese mit „*“ markierten Zeilen aus Einzelmessungen zusammengesetzt. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Tabelle 4 dargestellt. Dabei ist aufgefallen, dass WebP vom Server langsamer erstellt wird als JPEG. Außerdem werden Bilder mit Transparenz von PNG in 8 bit bzw. 24 bit und WebP langsamer erstellt als JPEG-Bilder. Da JPEG keine Transparenz unterstützt, werden die transparenten Flächen mit schwarzen

Pixeln aufgefüllt. Im Durchschnitt wird WebP zu PNG vom Server ähnlich schnell erzeugt. Werden die untersuchten Bildgrößen einzeln betrachtet, ergibt sich kein linearer Verlauf (Abbildung 4 und Abbildung 5). Die PNG-8-bit-Variante wird gegenüber WebP bei Kartenbildern größer als 400 × 600 Pixel schneller auf Serverseite erzeugt. Im Vergleich zu WebP wird die PNG-24-bit-Variante für Kartenbilder bis 512 × 512 Pixel schneller erzeugt.

Im Folgenden wird die WMS-Benutzung unter verschiedenen Bandbreiten, Rasterbildformaten und Kartengrößen verglichen. Unter Nutzung einer niedrigen Bandbreite von 6 Mbit/s lag die Antwortzeit mit WebP im Schnitt bei 54,5 % gegenüber PNG in der 8-bit-Variante bzw. bei 25,5 % gegenüber PNG in der 24-bit-Variante (Abbildung 6 und Abbildung 8). Der Effekt wird mit zunehmender abgerufener Bildgröße für den Anwender immer deutlicher spürbar. Auch unter höherer Bandbreite mit 50 Mbit/s zeigte WebP eine gute Performance (Abbildung 7 und

Rasterbildformat	zu JPEG ¹⁾		zu PNG (8 bit)		zu PNG (24 bit)	
	ja	nein	ja	nein	ja	nein
1. vnd.jpeg-png	841 %	100 %	321 %	35 %	100 %	11 %
2. vnd.jpeg-png8	262 %	100 %	100 %	35 %	31 %	11 %
3. webp	53 %	59 %	20 %	21 %	6 %	7 %
4. vnd.jpeg-webp	53 %	100 %	20 %	35 %	6 %	11 %

Legende: kleiner ... größer als [Spalte JPEG, PNG8 oder PNG24] abhängig von Transparenz

Tabelle 3: Dateigrößenvergleich

¹⁾ JPEG unterstützt keine Transparenz

Kartenerstellungszeit des WMS-Servers mit dem Programm shp2img	zu JPEG ¹⁾		zu PNG (8 bit)		zu PNG (24 bit)	
	ja	nein	ja	nein	ja	nein
1. vnd.jpeg-png*	125 %	100 %	104 %	84 %	100 %	75 %
2. vnd.jpeg-png8*	121 %	100 %	100 %	84 %	95 %	75 %
3. webp	126 %	128 %	105 %	91 %	101 %	96 %
4. vnd.jpeg-webp*	126 %	100 %	105 %	84 %	101 %	75 %

Legende: schneller ... langsamer als [Spalte JPEG, PNG8 oder PNG24] abhängig von Transparenz

Tabelle 4: WMS-Server Kartenerstellungszeitvergleich neuer zu klassischen Rasterbildformaten

¹⁾ JPEG unterstützt keine Transparenz

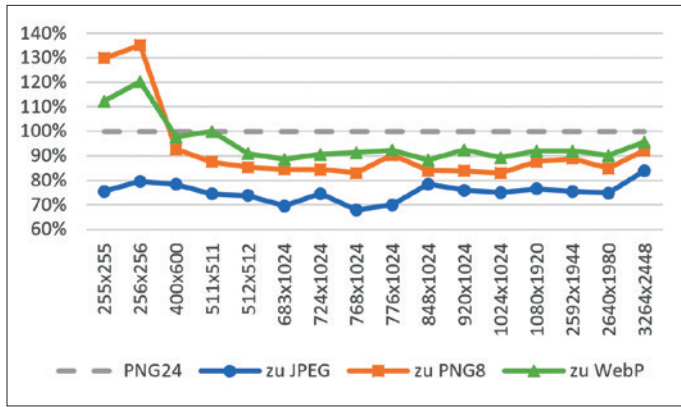


Abbildung 4: „shp2img“ von PNG-24-bit (ohne Transparenz)

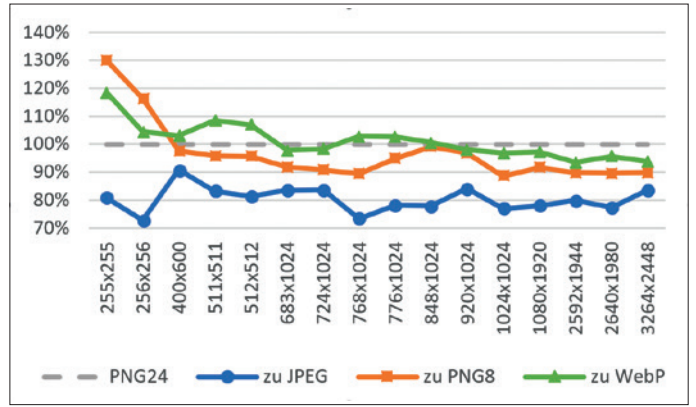


Abbildung 5: „shp2img“ von PNG-24-bit (mit Transparenz)

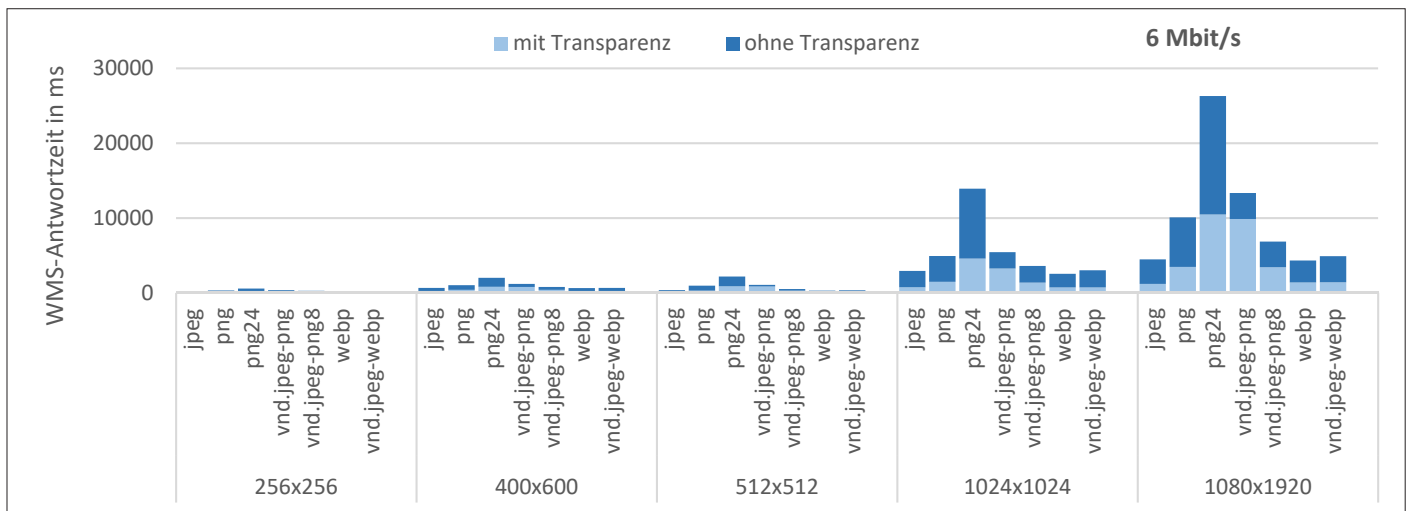


Abbildung 6: WMS-Antwortzeitenvergleich bei 6 Mbit/s

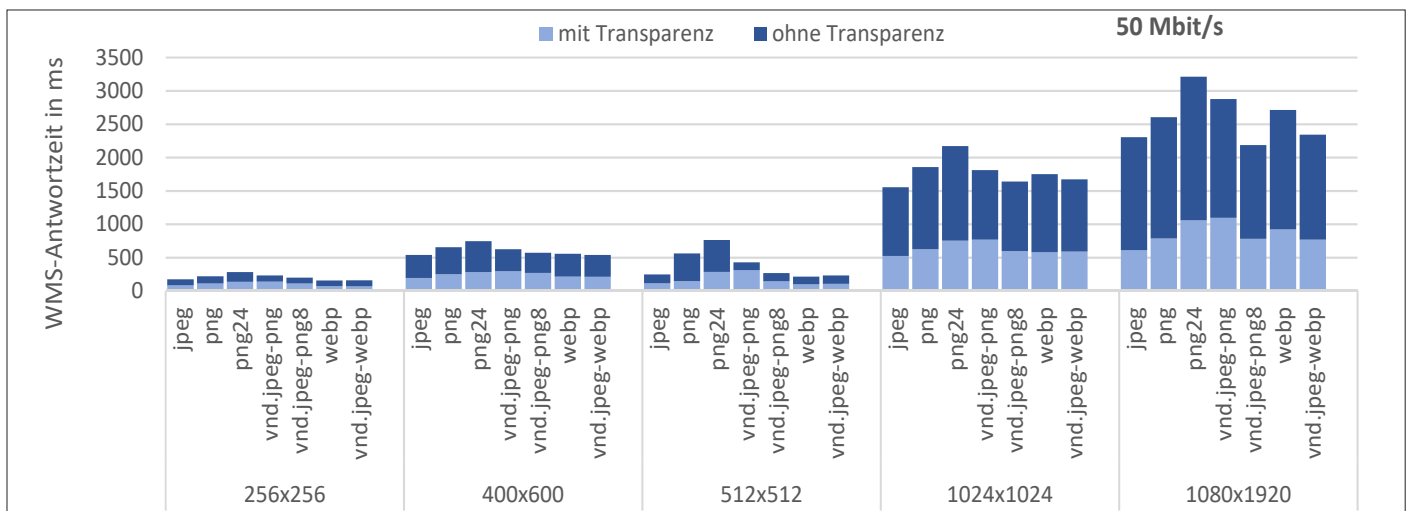


Abbildung 7: WMS-Antwortzeitenvergleich bei 50 Mbit/s

Abbildung 9). Bei genauerem Betrachten der Einzelmessungen wird sichtbar, dass die längere Kompressionszeit von WebP gegenüber JPEG sich auf die WMS-Antwortzeit auswirkt. Der Effekt wirkt sich bei größerer Bandbreite (Schöpfli et al. 2024) ab 50 Mbit/s und bei Kartenbildern größer als 512 x 512 Pixel in Summe negativ für WebP aus (Abbildung 9). Bei kleiner Band-

breite hat die reduzierte Datenmenge durch die höhere Kompressionsdichte von WebP einen WMS-Antwortzeitvorteil (Abbildung 8). Mit zunehmender Bandbreite des WMS-Clients wird sich das Verhältnis der WMS-Antwortzeit an die WMS-Server-Kartenerstellungszeit (Tabelle 4) annähern, da die Zeit der Übertragung weniger Einfluss auf die Gesamtantwortzeit hat. Für die

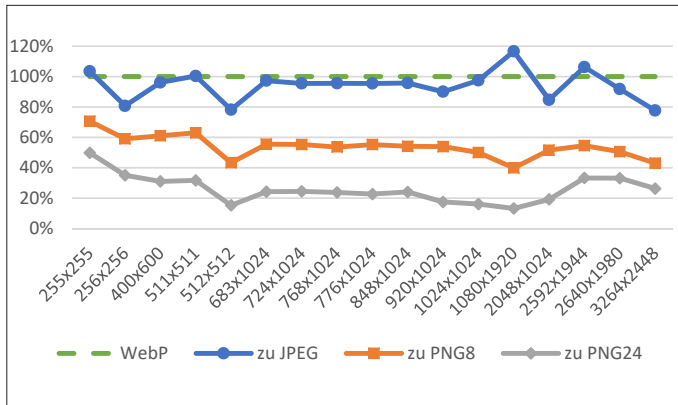


Abbildung 8: WMS-Antwortzeit von WebP mit Transparenz bei 6 Mbit/s

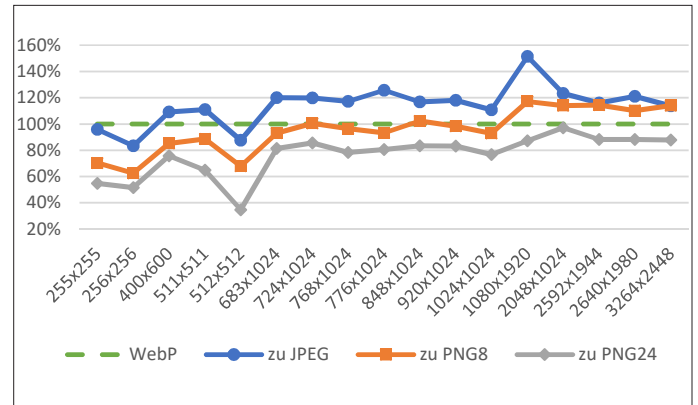


Abbildung 9: WMS-Antwortzeit von WebP mit Transparenz bei 50 Mbit/s

Kartengrößen 256×256 und 512×512 wirkt sich das eingerichtete „HTTP-Web-Caching“ (Loechel & Schmid 2012) des Geodatenservers positiv auf die WMS-Antwortzeit aus (Abbildung 9).

Insgesamt schnitt JPEG bei der WMS-Antwortzeit für Luftbilder (LVerGeo 2024) sehr gut ab, aber die fehlende Transparenzunterstützung kann ein Nachteil für die Nutzung in einem GIS sein (Tabelle 5). Als Rasterbildformat mit Transparenzunterstützung wird „vnd.jpeg-webp“ oder „webp“ empfohlen. Wird kein WebP unterstützt, kann „vnd.jpeg-png8“ eingesetzt werden, da dieses Rasterbildformat im Vergleich zu reinem PNG-8-bit oder PNG-24-bit die Vorteile von JPEG für Kartenbilder ohne Transparenz ausnutzt und nur für Kartenbilder mit Transparenz das PNG-8-bit verwendet wird (Tabelle 5, Zeile „vnd.jpeg-png8“ bei 6 Mbit/s und 50 Mbit/s).

Mit einer Bewertungsmatrix wird für die Einzeluntersuchungen mit einem Ranking von 7 bis 1 der verglichenen Rasterbildformate eine Gesamtbewertung dargestellt. 7 Punkte für den ersten Platz und 1 Punkt für den letzten Platz. Haben die Rasterbildformate in einer Kategorie ähnliche Eigenschaften, teilen diese sich einen Platz und erhalten dieselbe Punktwertung. Damit sind signifikante Unterschiede besser ablesbar. Eine längere Erstellungszeit von WebP-Kartenbildern auf Serverseite kann sich bei hoher Bandbreite als nachteilig gegenüber JPEG bzw. PNG auswirken, da die Übertragungszeit an Einfluss verliert und die Servergenerierungszeitunterschiede an Bedeutung gewinnen. In der Bewertungsmatrix wird dem Einfluss der Bildgröße bei einer Bandbreite von größer gleich 50 Mbit/s Rechnung getragen und eine Unterscheidung der Kartengrößen für kleiner gleich bzw. größer 512×512 Pixel eingeführt. Zu dem Ergebnis, dass WebP für kleinere Bilder besser geeignet ist, kommt auch die Bachelorarbeit von Röder (2024). Die aufgestellte Bewertungsmatrix der getesteten

Rasterbildformate sieht im Ergebnis Mixed-Mode-Varianten und WebP gegenüber einer reinen PNG-Ausgabe in 8 bit bzw. 24 bit klar vorn (Tabelle 6). Unter den Punktzahlen sind die Verhältnisse der durchschnittlichen Messergebnisse pro Format bezogen auf die Referenz PNG-24-bit zu „100 %“ angegeben. Damit wird deutlich, wie groß die Unterschiede der untersuchten Eigenschaften ausgefallen sind. Mit zunehmender Bandbreite werden die Unterschiede der WMS-Antwortzeit zwischen den untersuchten Rasterbildformaten geringer und unschärfer.

Je nach Anwendungsfall, z. B. vorhandene Bandbreite und Transparenznutzung, können aus der Bewertungsmatrix die entsprechende Anforderung abgelesen und die Eigenschaften entsprechend gewichtet werden. Somit kann auf spezielle Anwendungsfälle bzw. gegebenen Rahmenbedingungen eines der Rasterbildformate als geeigneter hervorgehen. Die PNG-24-bit-Variante hat z. B. mit der verlustfreien Kompression ein Alleinstellungsmerkmal, da alle anderen verglichenen Rasterbildformate mit Kompressionsverlusten behaftet sind, die aber für die visuelle Betrachtung nicht von Nachteil sind.

WMS-Antwortzeitenvergleich		zu JPEG ¹⁾		zu PNG (8 bit)		zu PNG (24 bit)	
		ja	nein	ja	nein	ja	nein
Karten mit Transparenz							
6 Mbit/s	vnd.jpeg-png	382 %	102 %	210 %	62 %	96 %	27 %
	Zvnd.jpeg-png8	175 %	100 %	98 %	61 %	47 %	27 %
	webp	94 %	90 %	54 %	55 %	26 %	25 %
	vnd.jpeg-webp	95 %	100 %	54 %	61 %	26 %	27 %
50 Mbit/s	vnd.jpeg-png	156 %	100 %	129 %	85 %	101 %	71 %
	vnd.jpeg-png8	124 %	94 %	102 %	80 %	82 %	67 %
	webp	114 %	105 %	95 %	90 %	76 %	75 %
	vnd.jpeg-webpssss	111 %	97 %	92 %	82 %	74 %	68 %

Legende: schneller ... langsamer als [Spalte JPEG, PNG8 oder PNG24] abhängig von Transparenz

Tabelle 5: WMS-Antwortzeitenvergleich neuer zu klassischen Rasterbildformaten je Übertragungsbandbreite

¹⁾ JPEG unterstützt keine Transparenz

Rasterbildformate			JPEG + WebP vnd.jpeg-webp	WebP webp	JPEG + PNG-8-bit vnd.jpeg-png8	JPEG ¹⁾ jpeg	JPEG + PNG-24-bit vnd.jpeg-png	PNG-8-bit png	PNG-24-bit ²⁾ png;mode=24bit	
Lokale WMS-Server Kartenerstellungszeitvergleich			Karte mit Transparenz	2 (101 %)	2 (101 %)	6 (97 %)	7 (80 %)	4 ²⁾ (100 %)	6 (97 %)	4 (100 %)
			Karte ohne Transparenz	7 (75 %)	2 (96 %)	7 (75 %)	7 (75 %)	7 (75 %)	3 (92 %)	1 (100 %)
			Ø Punkte	4,5	2,0	6,5	7,0	5,5	4,5	2,5
Dateigrößenvergleich			Karte mit Transparenz	7 (6 %)	7 (6 %)	4 (31 %)	5 (12 %)	2 ²⁾ (100 %)	4 (31 %)	2 (100 %)
			Karte ohne Transparenz	6 (11 %)	7 (7 %)	6 (11 %)	6 (11 %)	6 (11 %)	2 (31 %)	1 (100 %)
			Ø Punkte	6,5	7,0	5,0	5,5	4,0	3,0	1,5
WMS-Antwortzeitvergleich	Bandbreite 6 Mbit/s	Alle Karten- größen	Karte mit Transparenz	7 (26 %)	7 (26 %)	4 (47 %)	5 (28 %)	2 ²⁾ (96 %)	4 (47 %)	1 (100 %)
			Karte ohne Transparenz	6 (27 %)	7 (25 %)	6 (27 %)	6 (27 %)	6 (27 %)	2 (44 %)	1 (100 %)
			Ø Punkte	6,5	7,0	5,0	5,5	4,0	3,0	1,0
	Bandbreite 50 Mbit/s	Kartengröße ≤ 512 × 512 px	Karte mit Transparenz	7 (56 %)	7 (56 %)	3 (77 %)	5 (57 %)	2 ²⁾ (96 %)	4 (75 %)	1 (100 %)
			Karte ohne Transparenz	6 (60 %)	4 (61 %)	7 (57 %)	4 (61 %)	6 (60 %)	2 (87 %)	1 (100 %)
		Kartengröße > 512 × 512 px	Karte mit Transparenz	6 (82 %)	3 (85 %)	4 (84 %)	7 (70 %)	2 ²⁾ (103 %)	6 (82 %)	2 (100 %)
			Karte ohne Transparenz	6 (72 %)	3 (81 %)	7 (71 %)	5 (75 %)	4 (76 %)	2 (82 %)	1 (100 %)
	Ø Punkte			6,25	4,25	5,25	5,25	2,75	3,5	1,25
	Ergebnis der Punktbewertung			23,75	20,25	21,75	23,25¹⁾	16,25	14,00	6,25

Legende: sehr gut geeignet ... weniger gut geeignet
7 6 5 4 3 2 1 Punktzahl (Verhältnis in %)

Tabelle 6: Bewertungsmatrix

¹⁾ JPEG unterstützt keine Transparenz

²⁾ verlustfreie Kompression

5 DISKUSSION

Die WMS-Spezifikation erlaubt explizit die Verwendung neuer Rasterbildformate, sofern Clientunterstützung gegeben ist (Beaujardiere 2006, S. 20). Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass der Einsatz aktueller Rasterbildformate technisch möglich und sinnvoll ist. Gerade in Szenarien mit begrenzter Bandbreite und hoher Nutzerlast können so Antwortzeiten verkürzt und die Serverlast reduziert werden. Eine Unterstützung von weiteren aktuellen Bildformaten wie JPEG-XL und AVIF ist in den Softwarekomponenten weitestgehend noch nicht verfügbar. Es erweist sich, dass es längere Entwicklungszeiträume braucht, bis aktuelle Bildformate in den GIS-Bibliotheken wie GDAL unterstützt werden. WebP ist z. B. im Jahr 2010 entwickelt worden und kann erst seit Ende 2022 produktiv als WMS-Ausgabeformate eingesetzt werden (vgl. Abschnitt 2.1). Die Kombination aus Transparenzfähigkeit und hoher Kompression in einem Rasterbildformat macht WebP zu einem geeigneten Kandidaten für die Bildübertragung mit WMS-Diensten. Nur die längere Servergenerierungszeit gegenüber JPEG, die aus dem komplexeren Komprimierungsalgorithmus resultiert, wirkt

sich nachteilig aus (Öztürk & Mesut 2021, Fig. 3a). Daneben stehen die Mixed-Mode-Varianten „vnd.jpeg-webp“ und „vnd.jpeg-png8“. Bei diesen Kombinationen werden die Vorteile von zwei Bildformaten vereint und die Nachteile können eliminiert werden. Wird in der Kartenanwendung überhaupt keine Transparenz benötigt, ist das bekannte Rasterbildformat JPEG für die Performance das am besten geeignete Format. Das Rasterbildformat PNG in der 8-bit-Variante ist zwar schneller als PNG in der 24-bit-Variante, man muss aber bedenken, dass so nur 256 statt 16,7 Mio. Farbwerte übertragen werden können. Mit dem aufgezeigten Vergleich am Beispiel der „MapServer“-Implementierung zur Übermittlung von Luftbildern kann je nach Anforderungen und Rahmenbedingungen ein geeignetes Rasterbildformat ausgewählt werden. Die aufgestellte Bewertungsmatrix in Tabelle 6 gibt dabei einen grundlegenden Überblick. Auch wenn sich diese Ergebnisse vom Beispiel „MapServer“ des Geodatenserver „Geo4“ in Kombination von Luftbildern nicht vollständig auf andere Implementierungen bzw. andere Kartenprodukte übertragen lassen, können die gewonnenen Erkenntnisse als Grundlage für weitere

Untersuchungen dienen. Aber grundsätzlich können für die Übermittlung von WMS-Anfragen aktuelle Rasterbildformate verwendet werden und mit deren Eigenschaften von Vorteil sein. Im Rahmen der Untersuchung (Neubauer 2024) wurde WebP mit JPEG und PNG verglichen. Eingangs wird im Abschnitt 2.1 das verlustbehaftete WebP gegenüber JPEG mit 25 % bis 34 % kleiner beschrieben (Google 2024b). Aus einer zweiten Quelle geht hervor, dass verlustbehaftetes WebP gegenüber PNG ca. 60 % bis 70 % kleiner ist (Google 2024c). Die realisierte Untersuchung weist einen Unterschied für WebP von ca. –40 % gegenüber JPEG, von ca. –80 % gegenüber PNG-8-bit und von –94 % gegenüber PNG-24-bit aus (vgl. Tabelle 3). Damit haben die Untersuchungen ein deutliches Ergebnis erzielt und liegen über den Erwartungen, allerdings sollte für einen abschließenden Vergleich die Bewertung der Bildqualität als weitere Größe aufgenommen werden. Für mobile Anwendungen mit niedriger Bandbreite sind Bildformate mit hoher Kompressionsrate sehr viel besser geeignet und bieten einen erheblichen Vorteil zu dem bisher verwendeten PNG-Rasterbildformat (vgl. Abbildung 8). Mit einer reduzierten Dateigröße gehen eine schnellere Übertragung im Internet einher. Außerdem wurde in den Messungen der Vorteil des „HTTP-Web-Caching“ (Loechel & Schmid 2012) des Geodatenservers „Geo4“ für gekachelte Anfragen („Slippy Map“-Anwendungen, wie z. B. (BORIS.rlp 2025) oder (LANIS.rlp 2025)) in den Kartengrößen 256 × 256 und 512 × 512 nachgewiesen (Abbildung 8 und Abbildung 9). Neben der Kartenübertragung mittels standardisierter Dienste spielt das Rasterdatenformat und die damit verbundene Datenkompression auf der Serverseite eine wesentliche Rolle. Mit einem Vergleich der Kompression und dem Einfluss von Encoding- und Decoding-Geschwindigkeit kann neben Performance eine Kosteneinsparung erzielt werden, wenn weniger Plattenplatz zur Kartenablage benötigt wird.

Mit dem neuen „OGC API – Maps“-Standard vom August 2024 (Masó & Jacovella-St-Louis 2024) stellen sich neue Herausforderungen für die Dienstbetreiber einer GDI: Ist es notwendig, die bewährten WMS-Dienste abzulösen oder kann der Einsatz aktueller Rasterbildformate ein Beitrag zum Erhalt der bestehenden WMS-Dienste sein? Bestehende WMS-Angebote können mit einer Unterstützung aktueller Rasterbildformate technisch sehr einfach verbessert werden. In der „OGC API – Maps“-Spezifikation werden die Formate PNG, JPEG, JPEG-XL, TIFF, SVG, HTML und „andere Codierungen“ aufgezählt (Masó & Jacovella-St-Louis 2024). Welche Vor- oder Nachteile bringt der „OGC API – Maps“-Standard darüber hinaus mit?

6 FAZIT UND AUSBLICK

Moderne Rasterbildformate wie WebP bieten konkrete Vorteile für bestehende WMS (Beaujardiere 2006), WMTS (Masó et al. 2010b), TMS-Dienste (OSGeo 2012) und WCS (Evans 2005) bzw. in Verbindung mit dem neuen OGC-API-Maps-Standard (Masó & Jacovella-St-Louis 2024) hinsichtlich Datenvolumen und Antwortzeit (vgl. Vortrag von Čepický 2023 auf der FOSS4G 2023 zur TMS-Datenaufbereitung). Eine Schwäche der Untersuchung ist die fehlende Betrachtung der verlustfreien WebP-Variante. Mixed-Mode-Rasterbildformate kombinieren Vorteile von zwei unterschiedlichen Rasterbildformaten dynamisch. Für Kartendienste ergibt sich hieraus ein unmittelbarer Nutzen für Kartendienstanbieter

und GIS-Anwender. PNG könnte insgesamt durch WebP bzw. JPEG-PNG8 oder JPEG-WEBP (BORIS.rlp) ersetzt werden. Zukünftige Arbeiten können sich mit dem Einsatz von weiteren neuen Rasterbildformaten wie AVIF, HEIF und JPEG-XL befassen, wie z. B. Röder (2024). JPEG-XL ist seit GDAL 3.6.1 und AVIF seit dem 6. November 2024 unter der GDAL Version 3.10 implementiert und kann auf gleiche Weise wie WebP mit dem „MapServer“ verwendet werden. Daneben ist im Vergleich mit anderen WMS-Implementierungen interessant, ob diese zu gleichen Ergebnissen gelangen. Und grundsätzlich sollten verschiedene Basiskarten, z. B. aus dem Open-Data-Angebot (LVerGeo 2025), mehr Testgebiete mit verschiedenen Maßstäben, eine Bewertung der Bildqualität und eine Betrachtung der Messgenauigkeiten als weitere Faktoren in eine folgende Untersuchung aufgenommen werden. Außerdem ist eine breite Integration neuerer Rasterbildformate in Standardsoftware wünschenswert, um deren Potenziale voll ausschöpfen zu können. Unter QGIS (QGIS 2025) wird z. B. in der Version 2.28 nur ein Mixed-Mode mit „image/jpgpng“ akzeptiert. Inwiefern sich OGC-API-Maps oder Cloud-Native-Rasterbildformate in der Praxis bewähren, bleibt abzuwarten.

Zum Ausblick wird die geschichtliche Entwicklung der digitalen Bildformate zuerst kurz vorgestellt (Abbildung 10). Die Entwicklung

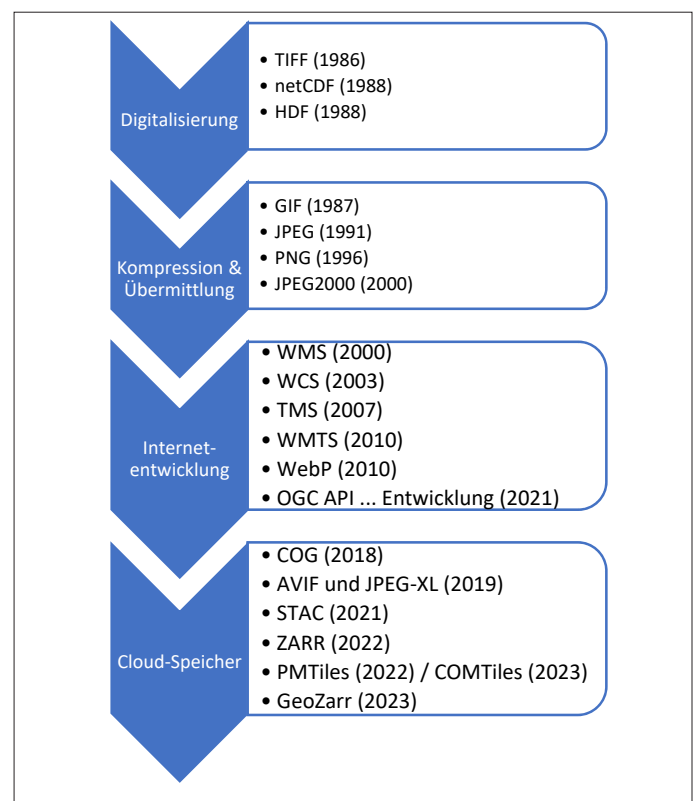


Abbildung 10: Historische Entwicklung von Rasterbildformaten (eigene Darstellung – Jahreszahlen: TIFF (Carlsen 1992, S. 4), netCDF (UNIDATA 2021), HDF (Folk 2024), GIF (CompuServe Incorporated 1987), JPEG (Ecma International 2009), PNG (Boutell 1996), JPEG2000 (Joint Photographic Experts Group 2024c), WMS (Doyle 2000), WCS (Evans 2005), TMS (OSGeo 2012), WMTS (Masó et al. 2010b), WebP (Zota 2010), OGC API (Emde 2021), COG (OGC 2023), AVIF (Concolato & Klemets 2019), JPEG-XL (ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 2019), STAC (Simmons 2021), ZARR (Zarr 2024), PMTiles (Protomaps LLC 2022), COMTiles (Tremmel 2023), GeoZarr (OGC 2024))

der Rasterdatenspeicherung, Verarbeitung und Übermittlung kann mit Beginn der 1980er-Jahre in vier Abschnitte eingeteilt werden. In der ersten Dekade wurden Rasterdatenformate entwickelt, mit denen Bilder das erste Mal im Computer gespeichert werden konnten. Danach folgte eine Digitalisierung von Bildern jeglicher Art. Die anschließende zweite Dekade beschäftigte sich mit Kompression von Bildformaten, damit zum einen Speicherplatz gespart werden kann, aber auch damit Rechner, die mittlerweile vernetzt waren, untereinander Daten austauschen können. Mit der dritten Dekade startete das Zeitalter des Internets und der Schwerpunkt lag auf standardisierter Übermittlung von Rasterdaten. Dabei ist z. B. das OGC entstanden, das interoperable Standards schuf, damit Softwarefirmen standardisierte Schnittstellen implementieren können, die das Zusammenspiel mehrerer Softwarekomponenten verschiedener Hersteller ermöglichen. Es wurden Geo-dateninfrastrukturen erstellt, die dank Standardisierung von unterschiedlichen Softwareprodukten genutzt werden können.

In der vierten Dekade wurde die Serverseite revolutioniert, da statt Root-Servern oder virtuellen Maschinen die abstraktere Cloud-Computing-Technologie immer weiter vorangetrieben wird. Dazu zählen unter anderem der AWS-S3-Speicher, der am „Pi-Tag“, dem 14. März 2006, eingeführt wurde (Amazon 2024). Die Abkürzung „S3“ steht dabei für „Simple Storage Service“. Dieses

Angebot hat Amazon als erste Firma entwickelt, es wurde mittlerweile von anderen Firmen übernommen und stellt einen Quasi-Standard dar. Ein S3-Cloud-Speicher ist ein Objektspeicherservice, der sich von bisherigen Serverinfrastrukturen mit Skalierbarkeit, Datenverfügbarkeit, Sicherheit und Leistung abhebt. Mit der neuen Technologie „Cloud“ gibt es den Bedarf nach Bildformaten, die sich in der neuen Umgebung effizient speichern und abrufen lassen (Tremmel 2023). Dabei wird auf Software in der Cloud verzichtet; das gelingt, indem die Bilddaten optimiert abgelegt werden. Außerdem werden statt Bilddateien direkte Byte-Streams aus den Bildformaten gelesen. Die Technologie des Lesens von Teilen eines Formats nennt sich HTTP-Range-Request (Fielding et al. 2014). Zu den Cloud-unterstützten Formaten zählen das COG-Format (OGC 2023), ZARR (Zarr 2024) bzw. GeoZarr (OGC 2024) und PMTiles (Protomaps LLC 2022). Die beschriebenen vier Dekaden sind in Abbildung 10 zusammengefasst und mit den jeweiligen Technologien verknüpft; dabei gibt es Überschneidungen, da die Übergänge fließend sind. Die aktuellen Entwicklungen lassen darauf schließen, dass Webkarten in Zukunft mit Cloudsystemen realisiert werden. Die Rasterdaten können sehr gut z. B. mit WebP-, AVIF- oder JPEG-XL-Codec in cloudfähigen Bildcontainerformaten komprimiert abgelegt werden.

Literatur

AK-GT (2020): AdV-Produktspezifikation ATKIS-DOP20-WMS, Version 1.0. <https://www.adv-online.de/icc/extdeu/med/c54/c5419114-249e-4711-1fea-f5203b36c4c2,11111111-1111-1111-1111-111111111111> (07/2025).

Aime, A. (2016): Developer's Corner: Smart transparency in GeoServer with image/vnd.jpeg-png format. <https://www.geosolutionsgroup.com/blog/geoserver-smart-transparency> (07/2025).

Amazon (2024): Amazon S3 Speicher. <https://aws.amazon.com/de/s3/resources> (07/2024).

Apache (2025): ab – Apache HTTP server benchmarking tool. <https://httpd.apache.org/docs/current/programs/ab.html> (07/2025).

Barina, D. (2021): Comparison of Lossless Image Formats (Image and Video Processing). In: eeess.IV. <https://arxiv.org/pdf/2108.02557> (07/2025).

Beaujardiere, J. d. (2006): OpenGIS Web Map Service WMS Implementation Specification. <https://portal.ogc.org/files/06-042> (07/2025).

Bellard, F. (2015): BPG Specification. https://bellard.org/bpg/bpg_spec.txt (07/2025).

BORIS.rlp (2025): Bodenrichtwerte RLP (LVerGeo). <https://www.boris.rlp.de> (07/2025).

Boutell, T. (1996): PNG (Portable Network Graphics) Specification. <https://www.w3.org/TR/REC-png-961001> (07/2025).

Carlsen, S. (1992): TIFF 6.0 specification. <https://www.itu.int/itudoc/itu-t/com16/tiff/tiff6/docs/tiff6.pdf> (07/2025).

Čepický, J. (2023): Tiling big piles of raster data using open source software. In: FOSS4G Prizren 2023. <https://nextcloud.osgeo.org/s/2P4dfmn5D4xZCno?dir=undefined&path=%2FUBT%20C%2FN109%20Second%20Floor%2F28.06&openfile=6611550#> (07/2025).

CompuServe Incorporated (1987): Graphics Interchange Format (GIF) Specification. <https://www.w3.org/Graphics/GIF/spec-gif87.txt> (07/2025).

Concolato, C.; Klemets, A. (2019): AV1 Image File Format (AVIF) V1.0.0. <https://aomediacodec.github.io/av1-avif/v1.0.0.html> (07/2025).

Dornauer, B.; Felderer, M. (2023): Web Image Formats: Assessment of Their Real-World-Usage and Performance across Popular Web Browsers. In: PROFES Dornbirn 2023. <https://arxiv.org/abs/2310.00788> (07/2025).

Doyle, A. (2000): OpenGIS Web Map Server Interface Implementation Specification (1.0.0). <https://portal.ogc.org/files/04-050r1> (07/2025).

Ecma International (2009): JPEG File Interchange Format (JFIF). https://ecma-international.org/wp-content/uploads/ECMA_TR-98_1st_edition_june_2009.pdf (07/2025).

- Emde, A. (2021): Die „OGC API Family“ – Neue Standards des OGC. In: Where2B 2021. <https://where2b-conference.com/fileadmin/where2b/resources/documets/archive/2021/Where2B-2021-ogc-api-family-aemde.pdf> (07/2025).
- Esri (2021): 24004: Kachelformat MIXED wird für das Cachen einer Karte mit Raster-Layern empfohlen. <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/map/publish-map-services/24004-cache-image-format-should-be-jpeg-or-mixed-as-map-contains-only-raster-layers.htm> (07/2025).
- Evans, J. (2005): Web Coverage Service (WCS), Version 1.0.0 (Corrigendum). <https://portal.ogc.org/files/05-076> (07/2025).
- Fielding, R.; Lafon, Y.; Reschke, J. (2014): Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Range Requests. <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7233.txt> (07/2025).
- Folk, M. (2024): Mike Folk. <https://www.hdfgroup.org/team/mike-folk-2> (07/2025).
- Google (2024a): Ein Bildformat für das Web. <https://developers.google.com/speed/webp> (07/2025).
- Google (2024b): WebP – Komprimierungstechniken. <https://developers.google.com/speed/webp/docs/compression> (07/2025).
- Holl, S. (2011): Virtual Raster Tables und andere GDAL-Tools. In: FOSSGIS Heidelberg 2011. https://fossGIS-konferenz.de/2011/programm/attachments/240_vrt_holl-fossGIS2011.pdf (07/2025).
- IANA (2024): Protocol Registries. <https://www.iana.org/protocols> (07/2025).
- ITU-T (2009): JPEG XR image coding system – Image coding specification. <https://handle.itu.int/11.1002/1000/9721-en?locatt=format:pdf> (07/2025).
- ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 (2024): jxl. <https://www.iana.org/assignments/media-types/image/jxl> (07/2025).
- Johnston, N.; Vincent, D.; Minnen, D.; Covell M.; Singh, S.; Chinen, T.; Hwang, S. J., Sohr, J., Toderici, G. (2017): Improved lossy image compression with priming and spatially adaptive bit rates for recurrent networks. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. <https://arxiv.org/pdf/1703.10114.pdf> (07/2025).
- Joint Photographic Experts Group (2024a): Workplan & Specs of JPEG 2000. <https://jpeg.org/jpeg2000/workplan.html> (07/2024).
- Joint Photographic Experts Group (2024b): JPEG LS. <https://jpeg.org/jpegl/index.html> (07/2024).
- Joint Photographic Experts Group (2024c): Workplan & Specs of JPEG 2000. <https://jpeg.org/jpeg2000/workplan.html> (07/2024).
- jxl-community (2024): jpegl.info. <https://jpegl.info> (05/2024).
- LANIS.rlp (2025): LANIS – Geoportal der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz. https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/index.php (07/2025).
- Library of Congress Collections (2022): JPEG-XL File Format. <https://loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000538.shtml> (07/2024).
- Loechel, A.; Schmid, S. (2012): Verschiedene Caching-Techniken für Web Map Services. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Hrsg.) (2012): Angewandte Geoinformatik 2012. https://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/537520053.pdf (07/2025).
- lVermGeo (2024): GetCapabilities „WMS RP DOP20“. https://geo4.service24.rlp.de/wms/rp_dop20.fcgi?request=getcapabilities&service=wms&version=1.3.0 (07/2024).
- lVermGeo (2025): Open Data – Freie Daten und Dienste der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz. <https://lvermgeo.rlp.de/geodaten-geoshop/open-data> (07/2025).
- Mandeel, T.; Ahmad, M.; Khalid, N.; Isa, M. (2021): A Comparative Study on Lossless compression mode in WebP, Better Portable Graphics (BPG), and JPEG XL Image Compression Algorithms. In: 2021 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE), Kuala Lumpur, Malaysia, 2021, S. 17–22. <https://doi.org/10.1109/ICCCCE50029.2021.9467224>.
- MapProxy Community (2024): MapProxy – Configuration examples. https://mapproxy.github.io/mapproxy/latest/configuration_examples.html#mixed-mode (07/2024).
- Masó, J.; Jacovella-StLouis, J. (2024): OGC API – Maps: Part 1: Core. <https://docs.ogc.org/is/20-058/20-058.html> (07/2025).
- Masó, J.; Zabala, A.; Pons, X. (2010a): Combining JPEG2000 Compressed Formats and OGC, Standards for Fast and Easy Dissemination of Large Satellite Data. In: Italian Journal of Remote Sensing 42 (42), S. 101–114. DOI: 10.5721/IJRS20104238.
- Masó, J.; Pomakis, K.; Julià, N. (2010b): OpenGIS Web Map Tile Service Implementation Standard. <https://portal.ogc.org/files/07-057r7> (07/2025).
- Matijević, M.; Mikota, M.; Čačić, M. (2016): Impact of JPEG-WebP conversion on the characteristics of the photographic image. In: Tehnički Vjesnik 23 (2), S. 505–509. <https://hrcak.srce.hr/file/231163> (07/2025).
- McKenna, J.; Fawcett, D.; Butler, H. (2023): MapServer Documentation Release 7.6.5. <https://download.osgeo.org/mapserver/docs/MapServer-76.pdf> (07/2025).
- Miano, J. (1999): Compressed Image File Formats: JPEG, PNG, GIF, XBM, BMP. Addison-Wesley Professional, Boston.
- Neubauer, S. (2024): Untersuchung des Web Map Service Standards auf aktuelle Rasterbildformate und Alternativen. Masterarbeit, Hochschule Mainz.

OGC (2023): Cloud Optimized GeoTIFF (COG) published as official OGC Standard. <https://www.ogc.org/press-release/cloud-optimized-geotiff-cog-published-as-official-ogc-standard> (07/2025).

OGC (2024): OGC forms new GeoZarr Standards Working Group to establish a Zarr encoding for geospatial data. <https://www.ogc.org/press-release/ogc-forms-new-geozarr-standards-working-group-to-establish-a-zarr-encoding-for-geospatial-data> (07/2025).

OGC (2025): OGC API Family. <https://ogcapi.ogc.org> (07/2025).

OSGeo (2012): Tile Map Service Specification. https://wiki.osgeo.org/wiki/Tile_Map_Service_Specification (07/2025).

OSGeo (2024): GDAL documentation: Raster drivers. <https://gdal.org/drivers/raster/index.html> (07/2025).

Öztürk, E.; Mesut, A. (2021): Performance Evaluation of JPEG Standards, WebP and PNG in Terms of Compression Ratio and Time for Lossless Encoding. In: 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). <https://doi.org/10.1109/UBMK52708.2021.9558922>.

Peterson, M. P. (2008): International Perspectives on Maps and the Internet. Springer, Berlin/Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-72029-4>.

Protomaps LLC (2022): protomaps – PMTiles. <https://www.protomaps.com> (07/2024).

QGIS (2025): QGIS Benutzerhandbuch. <https://docs.qgis.org> (07/2025).

Röder, F. (2024): Analyse und experimenteller Vergleich der Bildformate AVIF, WebP und JPEG XL. Bachelorarbeit, TU Dresden. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-937327>.

Rouault, E. (2016): GitHub MapServer. <https://github.com/MapServer/MapServer/commit/0badcfe0f193e46b4c4875194f7d53ce3723906f> (07/2024).

Rouault, E. (2023a): State of GDAL 3.6 & 3.7. In: FOSS4G Prizren 2023. [http://download.osgeo.org/gdal/presentations/State%20of%20GDAL%20\(FOSS4G%202023\).pdf](http://download.osgeo.org/gdal/presentations/State%20of%20GDAL%20(FOSS4G%202023).pdf) (07/2025).

Schlett, T.; Schachner, S.; Rathgeb, C.; Tapia J.; Busch, C. (2023): Effect of Lossy Compression Algorithms on Face Image Quality and Recognition. In: IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.12593>.

Schöpflin, L.; Atzl, C.; Farthofer-Oster, S.; Dorfinger, P.; Carmona, J.; Hildenbrandt, D.; Kuhn, A.; Mittlböck, M. (2024): Mehrwert und Herausforderungen der 5G-Technologie im Anwendungsbereich der Geoinformatik. Ergebnisse aus den zwei Forschungsprojekten 5G-Mobis und 5G-EXPS. In: *gis.Science* 1/2024, S. 27–35. <https://www.doi.org/10.14627/gis.Science.2024.1.4>.

Siipola, J. (2021): What's the best lossless image format? Comparing PNG, WebP, AVIF, and JPEG XL. <https://siipo.la/blog/whats-the-best-lossless-image-format-comparing-png-webp-avif-and-jpeg-xl> (07/2025).

Simmons, S. (2021): Bringing STAC into OGC. <https://www.ogc.org/blog-article/bringing-stac-into-ogc/> (07/2025).

Singh, S. (2023): A Comparative Evaluation of Next-Generation Image Formats on Low-Cost Mobile Hardware. Tech. Rep. 2, New York University Abu Dhabi, Abu Dhabi. https://yasirzaki.net/capstones/Shaurya_capstone.pdf (05/2025).

Sneyers, J. (2020): How JPEG XL Compares to Other Image Codecs (Cloudinary). <https://cloudinary.com/blog/how-jpeg-xl-compares-to-other-image-codecs> (07/2025).

Sneyers, J.; Wuille, P. (2016): Free Lossless Image Format based on MANIAC compression. In: 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). <https://doi.org/10.1109/ICIP.2016.7532320>.

Tremmel, M. (2023): COMTiles: a case study of a cloud optimized tile archive format for deploying planet-scale tilesets in the cloud. In: FOSS4G Prizren 2023. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W7-2023-231-2023>.

UNIDATA (2021): NetCDF History. https://docs.unidata.ucar.edu/nug/2.0-draft/netcdf_history.html (07/2025).

Warmerdam, F.; Rouault, E. (2024): GDAL Documentation. <https://gdal.org/gdal.pdf> (05/2024).

Yannis, G.; Maryla, U.-C. (2022): Google Git – libwebp2. <https://chromium.googlesource.com/codecs/libwebp2> (07/2024).

Zarr (2024): Zarr. <https://zarr.dev> (07/2024).

Zota, V. (2010): Googles Web-Grafikformat WebP soll JPEG aufs Altenteil schicken. In: *heise online*, 01. 10. 2010. <https://www.heise.de/news/Googles-Web-Grafikformat-WebP-soll-JPEG-aufs-Altenteil-schicken-Update-1099870.html> (05/2025).