

DA-NRW: Eine verteilte Architektur für die digitale Langzeitarchivierung

Sebastian Cuy, Martin Fischer, Daniel de Oliveira,
Jens Peters, Johanna Puhl, Lisa Rau, Manfred Thaller

Historisch-Kulturwissenschaftliche Informationsverarbeitung
Universität zu Köln
Albertus-Magnus-Platz
D-50923 Köln
{sebastian.cuy, martin.fischer, d.de-oliveira,
jens.peters, johanna.puhl, l.rau, manfred.thaller}
@uni-koeln.de

Abstract: Die Regierung von Nordrhein-Westfalen plant den Aufbau eines landesweiten Langzeitarchivs für digitale Inhalte aus dem Bereich des kulturellen Erbes. Dieses soll zugleich als ein Pre-Aggregator für die Präsentation der Daten in der Deutschen Digitale Bibliothek und Europeana dienen.

Als technische Umsetzung wurde ein Softwaresystem entworfen, das ausschließlich auf Open Source Komponenten aufsetzt um solch ein verteiltes, selbst-validierendes digitales Archiv zu realisieren. Die genannte Lösung bietet den Einlieferern mittels sogenannter Contracts (XML-basierte Verträge) einen hohen Grad an Kontrolle über die auf die eingelieferten Objekte angewandten Methoden für Archivierung und Publikation.

1 Das DA-NRW Projekt und seine Zielstellung

Das Digitale Archiv NRW [DA13c] wurde 2010 mit dem Ziel ins Leben gerufen, eine Struktur zu errichten, in der Kultureinrichtungen aller Sparten – Archive, Bibliotheken und Museen, aber ggf. auch andere, wie Bodendenkmalämter, – des Landes Nordrhein-Westfalen ihre digitalen Daten langfristig kostengünstig verwahren können.

Zunächst wurde ein Prototyp mit einer mehrfach redundanten Speicherarchitektur und Schnittstellen zu anderen Archivierungsinitiativen sowie deren Metadatenstandards entwickelt. Mittlerweile, nach umfangreichen Tests, befindet sich das Projekt in einer Verfestigungsphase, in der die Softwarelösung für den Produktionsbetrieb angepasst wird und gleichzeitig ein organisatorischer Rahmen errichtet wird, der den Dauerbetrieb erlaubt. Gegenstand dieses Papiers ist die Softwarelösung – *DA-NRW Suite* [Th13] – die

einen technischen Kern zur Realisierung von Langzeitarchivierungslösungen beliebigen organisatorisch-administrativen Zuschnitts anbietet, nicht die angestrebte organisatorisch-administrative Umsetzung.

Das DA-NRW soll Digitalisate von körperlichen Dokumenten (Retrodigitalisate), aber auch Born-Digital-Materialien archivieren. Wichtige Einlieferer sind Bibliotheken, Archive und Museen. Es ist eine besondere Herausforderung im Projekt, den mitunter recht unterschiedlichen Anforderungen der jeweiligen Sektoren an ein digitales Archiv gerecht zu werden. Die genannten Einrichtungen verfolgen häufig sehr unterschiedliche Aufträge und Ziele: Die Aufgabe von Bibliotheken ist es, Publikationen der Öffentlichkeit zugänglich machen; dagegen verwahren Archive auch private, personengebundene Daten wie Nachlässe oder kommunale Dokumente, die strengen Datenschutzrichtlinien unterliegen. Bibliotheken sammeln weitestgehend gedrucktes Material, welches eine relativ einheitliche Struktur aufweist, während beispielsweise Museen vielfältige dreidimensionale Werke oder audiovisuelles Material beherbergen.

Das DA-NRW muss sich also sowohl auf unterschiedliches Material verschiedener technischer und struktureller Komplexität einstellen als auch die unterschiedlichen Einschränkungen für die Veröffentlichung einzelner Bestände berücksichtigen.

Das im Folgenden beschriebene System und insbesondere die entwickelte Softwarelösung wurden in einer nach den Prinzipien des „Open Archival Information Systems“ (OAIS) [Co12] aufgebauten Architektur realisiert. Die Begrifflichkeiten für Pakete aus dem OAIS-Modell: *SIP* (Submission Information Package), *AIP* (Archival Information Package), *DIP* (Dissemination Package), sowie die Bezeichnungen für die Workflowkomponenten *Ingest*, *Data Management*, *Access* und *Presentation* werden also stets im Sinne dieses Standards verwendet.

Das DA-NRW gewährleistet die langfristige Speicherung des eingelieferten Materials an verteilten Lokationen mithilfe redundanter Speicherung. Ein besonderes Merkmal der entwickelten Technik ist die regelmäßige automatische Überprüfung der Integrität der Pakete an den einzelnen Speicherorten auf der Basis hinterlegter Checksummen.

2 Abläufe im DA-NRW

Die folgende Abbildung stellt den organisatorischen Aufbau des Projekts dar:

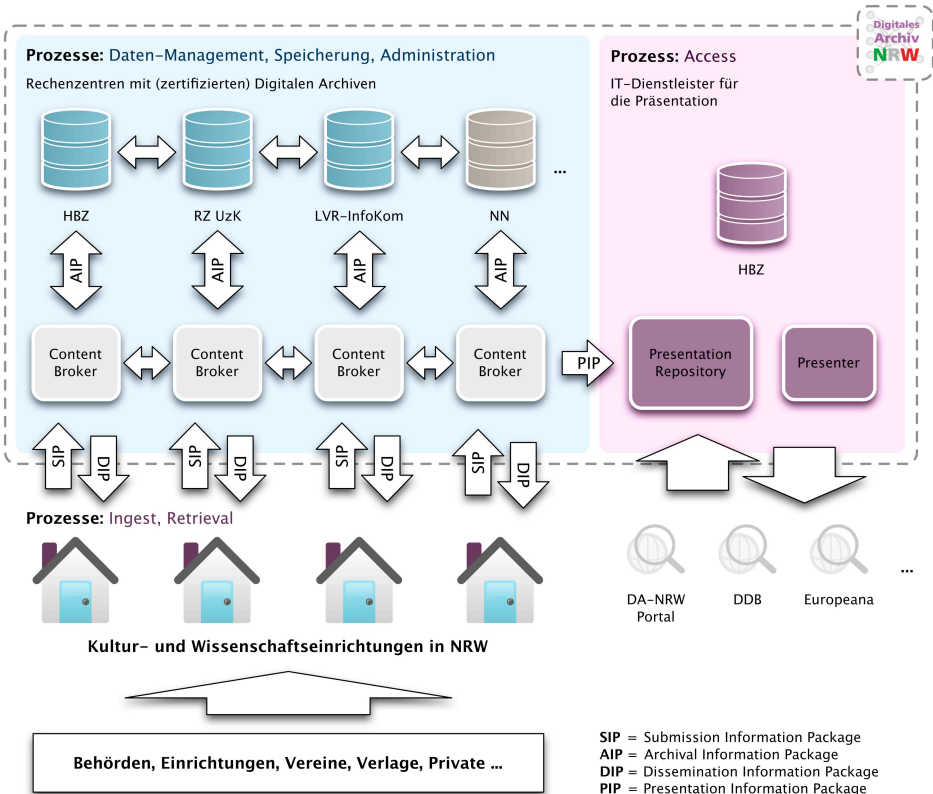


Abbildung 1: Architektur des DA-NRW

In der dargestellten Skizze stellen sowohl ContentBroker als auch das Presentation Repository eigene Software-Entwicklungen im Rahmen des Projekts dar.

Die Einlieferer – Einrichtungen des kulturellen Erbes in NRW – reichen ihre Daten über eine entsprechende Schnittstelle in das DA-NRW ein (Ingest), wo sie über den Content-Broker und die Datenhaltungsschicht verteilt auf den „Knoten“ der Betreiber gespeichert werden (Preservation Management, Storage). Von dort können die Einlieferer die Daten auch wieder anfordern (Retrieval). Mit „Knoten“ wird dabei die Hardware eines technischen Dienstleisters (Rechenzentrums) bezeichnet. Diese kann alle Softwarekomponenten der DA-NRW Suite unterstützen, aber auch auf eine Teilmenge beschränkt werden, wodurch sie dann als „intelligenter Mirror“ erscheint.

Neben diesen Komponenten zur Langzeitspeicherung gibt es den Präsentations-Bereich. Der ContentBroker sendet dafür entsprechende Daten an das so genannte Presentation

Repository, welches als Aggregator für Portale fungiert und somit den Zugriff auf dafür frei gegebene Pakete ermöglicht.

OAIS konform durchläuft ein zur Archivierung in das DA-NRW-System eingespieltes Informationspaket mehrere Stadien. Für die Einlieferung wird zunächst ein *SIP* (Submission Information Package) gebildet. Sein Inhalt ist frei vom Einlieferer zu bestimmen. Empfohlen wird, Einheiten inhaltlich zusammenhängender Daten (intellectual entities), als Einzelpakete abzulegen. Ein so erstelltes SIP enthält die zu archivierenden Originaldaten und Metadaten, aber explizit die Archivierung betreffende Zusatzinformationen, beispielsweise darüber, ob die Daten konvertiert und veröffentlicht werden dürfen.

Nach erfolgreicher Übertragung auf einen Knoten des DA-NRW, wird das SIP dort zunächst auf Konsistenz geprüft: D.h., es werden einerseits alle mitgelieferten Checksummen verifiziert, andererseits wird festgestellt, ob jede mitgelieferte Datei in den Metadaten enthalten ist bzw. ob alle in den Metadaten referenzierten Dateien auch tatsächlich angeliefert wurden.

Für die Archivierung wird aus dem SIP ein *AIP* (Archival Information Package) gebildet, das zusätzlich konvertierte Formate der ursprünglich eingeleferteten Dateien in einer weiteren Repräsentation enthält. In der neuen Repräsentation werden Formate verwendet, die als besser geeignet für eine langfristige Speicherung identifiziert wurden (Ein Beispiel für die Einschätzung von Dateiformaten bietet das Florida Digital Archive [F112]).

Da der Erfolg derartiger Konversionsmaßnahmen nach dem Stand der Technik jedoch nicht automatisch verifizierbar ist, wird das ursprüngliche Format in jedem Fall auch langzeitarchiviert. Ein AIP bekommt während der Verarbeitung einen URN (Uniform Resource Name) zugewiesen und konstituiert damit ein Objekt im Sinne des DA-NRW. Objekte können durch Einlieferung weiterer SIPs, zusätzliche oder neue Fassungen der gleichen Dateien enthalten, und so ergänzt oder ersetzt werden. Das System fasst solche, namentlich durch Angabe einer bereits bestehenden URN gekennzeichneten Objekte, als Deltas auf.¹ Deltas werden genauso wie SIPs im DA-NRW verarbeitet und als weitere AIPs abgespeichert, gehören aber logisch zu einem bereits bestehenden Objekt. Diese „Ergänzung oder Ersetzung“ bestehender Komponenten erfolgt jedoch strikt im Sinne einer Versionierung: Auf den vorigen Zustand des Objekts kann ggf. zurückgegangen werden.

Soll das Objekt wieder aus dem Archiv bereit gestellt werden, so wird ein *DIP* (Dissemination Information Package) gebildet. Dieses enthält in Form einer sogenannten „Oberflächenansicht“ die neuesten Versionen aller Daten des Objekts, berücksichtigt also sowohl durch Konvertierung oder eine spätere Migration entstandene neue Dateiversionen sowie durch Deltas hinzugekommene Dateien, welche wiederum auch in konvertierter Form vorliegen können.

¹ SIPs, die nicht als Delta eingelefert werden, werden im Abgrenzung dazu auch als Ersteinlieferung bezeichnet.

Eine weitere Form der Dissemination von Paketen stellen *PIPs* (Presentation Information Packages²) dar, die Derivate der Dateien des Objektes enthalten, die in der Web-Präsentation zum Einsatz kommen.

Die praktische Umsetzung der genannten organisatorischen und informationsverarbeitenden Konzepte bildet die DA-NRW Software Suite. Die folgenden Bestandteile bilden die Kernkomponenten:

- Die **Datenmanagementschicht** (Realisiert mit der Software „**iRODS**“ [IR13]) sorgt für die redundante Speicherung und das Ressourcen-Management.
- Der „**ContentBroker**“ verarbeitet und beauftragt die Verteilung der Pakete.
- Das „**Presentation Repository**“ stellt die Schnittstelle zu externen Portalen dar.

Weiterhin zählen zur DA-NRW Software Suite zwei Komponenten, die als Schnittstellen zum System fungieren und damit besonders für die Einlieferer relevant sind:

- Der „**SIP-Builder**“ kommt im Pre-Ingest zur Anwendung und unterstützt die Einlieferer dabei, ihre Objekte in SIPs zu wandeln.
- Die „**DA-Web**“-**Oberfläche** ist die zentrale Schnittstelle zwischen den Einlieferern und dem DA-NRW. Hierüber können Pakete hochgeladen, in der Verarbeitung überprüft und auch wieder angefordert werden.

3 Datenaufbereitung / (Pre-) Ingest

Um die im DA-NRW eingehenden Daten und Metadaten korrekt interpretieren zu können, müssen diese bereits bei der Anlieferung in einer geeigneten Form vorliegen.

Der Pre-Ingest als das Verfahren, Daten in geeignete, also vom DA-NRW verarbeitbare Form zu bringen, findet in der Regel bei den Besitzern der digitalen Objekte beziehungsweise bei von den einliefernden Institutionen beauftragten Unternehmen statt. Um sowohl Einlieferern mit bereits automatisierten SIP-Generierungsprozessen als auch kleineren Institutionen ohne große IT-Abteilung gerecht zu werden, bietet das DA-NRW zwei Möglichkeiten zur Erstellung von SIPs:

Zum einen ist es den Nutzern freigestellt, selbstständig SIPs zu produzieren. Dabei müssen die Vorgaben der SIP-Spezifikation des DA-NRW [DA13a] eingehalten werden.

Zum anderen stellt das Digitale Archiv NRW ein Softwarewerkzeug – den SIP-Builder – zur Verfügung, der die Erstellung DA-NRW-konformer SIPs unterstützt. Dies geschieht, indem vorhandenes Datenmaterial in eine entsprechende Struktur überführt und mit Informationen über die rechtlichen Bedingungen für die Verwaltung der Daten im DA-NRW versehen wird.

² Auf abstrakter Ebene handelt es sich bei den PIPs um DIPs im Sinne des OAIS Modells. Die Unterscheidung wurde im Rahmen des DA-NRW getroffen um zwischen zwei unterschiedlichen und häufig verwechselten Situationen zu unterscheiden. Die Bezeichnung *DIP* (Dissemination Information Package) verwenden wir für eine an die Technologie zum Zeitpunkt des Retrieval angepasste Form des Objekts, die prinzipiell alle im AIP enthaltene Information bereitstellt. Als *PIP* (Presentation Information Package) bezeichnen wir eine Teilmenge dieser Information, die, unbeschadet der langfristigen Sicherung der gesamten Informationsmenge, für eine transiente Nutzung extrahiert wird.

Diese Angabe von rechtlichen Einschränkungen ist ein wichtiger Bonus für die Weiterverarbeitung der SIPs im DA-NRW: Mithilfe dieser Angaben wird festgelegt, ob die zu archivierenden Daten auch von Webportalen über das Presentation Repository abgefragt werden dürfen und, falls ja, in welcher Qualität. Darüber hinaus kann auch die Migration bzw. die Konvertierung in langzeitfähige Dateiformate unterbunden werden.

Das online verfügbare XML-Schema des DA-NRW [DA13b] dient als Grundlage zur Vergabe dieser rechtlichen Einstellungen. Bei der aus dem SIP-Builder resultierenden XML-Datei handelt es sich um den so genannten Contract, der eine Erweiterung des PREMIS-Schemas darstellt [Li13].

Der SIP-Builder steht sowohl als Command-Line-Interface-Version (CLI-Version) als auch als Version mit grafischer Oberfläche (GUI: Graphical User Interface) zur Verfügung. Die CLI-Variante eignet sich für den Einsatz im Rahmen per Skript automatisierter Lösungen, während die GUI-Variante naturgemäß Nutzerinteraktion erfordert, aber auch durch die grafische Oberfläche intuitiver zu bedienen ist.

Unabhängig davon, auf welche Weise die SIPs im Pre-Ingest erstellt werden, obliegt die Definition der Paketgranularität dem Einlieferer.

Die Entscheidung darüber, auf welchem technischen Weg die im Pre-Ingest erstellten Submission Information Packages in die DA-NRW Software Suite eingespeist werden, legt der Einlieferer in Kooperation mit dem gewünschten Abgabeknoten fest. Bei großen Abgabemengen bieten sich hier sicherlich Verfahren unter Einbeziehung der internen, technischen Abgabeschnittstelle im ContentBroker an. Für kleinere Mengen besteht die Möglichkeit SIPs über die Benutzerschnittstelle DA-Web in Kombination mit einer generischen WebDAV-Schnittstelle [We09] abzugeben.

4 Benutzerschnittstellen im DA-NRW

Das DA-NRW-System verfügt neben einer technischen Schnittstelle zur Abgabe großer Datenmengen über eine Benutzerschnittstelle, welche als Web-GUI realisiert ist.

Mittels dieser Web-GUI, die innerhalb des Projekts zunächst nur zur Visualisierung und Kontrolle der Paketverarbeitung konzipiert war, ist auch eine niedrigschwellige Abgabe von Paketen in das DA-NRW-System möglich, indem die Web-GUI auch Zugriff auf den eingesetzten WebDAV Server bietet. Damit bündelt die Benutzerschnittstelle die zentralen Anforderungen eines Einlieferers im DA-NRW, bestehend aus einer möglichst einfachen und komfortablen Oberfläche für den Ingest und das Retrieval. Beide Aufgaben werden unterstützt durch die Möglichkeit einer Einsichtnahme in den Verarbeitungsprozess der von der Institution abgegebenen SIPs sowie einer komfortablen Recherche in den aufbewahrten AIPs. Nach Anforderung wird das AIP als DIP aufbereitet und steht nach der Entnahme aus den Langzeitspeichern im institutionseigenen Ausgangsordner für die entsprechende Institution zur Abholung bereit.

Wie oben bereits erwähnt, arbeitet die Benutzerschnittstelle mit einem WebDAV-fähigen Server zusammen, da nur die Kombination mit WebDAV derzeit eine problemlose Abgabe beliebig großer Objekte über die Protokollfamilie HTTP/HTTPS erlaubt. Neben

diesen Protokollen können selbstverständlich auch andere technische Lösungen zur Ablieferung am jeweiligen Knoten des DA-NRW verwendet werden (z.B. SFTP, SSH/SCP), um so die interne technische Abgabeschnittstelle des ContentBrokers direkt anzusprechen.

Aus mehreren Gründen wurde der Webschnittstelle bei der Programmierung die Kombination aus WebDAV und HTTP zu Grunde gelegt: Zum einen, weil eine WebDAV-Unterstützung in den meisten Betriebssystemen bereits vorhanden ist, zum anderen ist die Verwendung der Protokolle HTTP/HTTPS zumeist institutions- und damit firewall-übergreifend kein Problem.

Ebenso ermöglicht die genannte Kombination eine relativ niedrighschwellige Abgabe und Entnahme der Pakete für den Benutzer selbst. Niedrighschwellig in diesem Zusammenhang meint auch, dass beliebig große Objekte mit Mitteln und Werkzeugen abgegeben und entnommen werden können, die nicht nur auf jedem Betriebssystem grundsätzlich verfügbar sind, sondern auch ohne großen benutzerseitigen Installations- und Konfigurationsaufwand auskommen.

Das zukünftige Potential der Webschnittstelle besteht insbesondere in einer möglichen Integration von Aufgaben des Pre-Ingests (DA-NRW Software SIP-Builder) in den Funktionsumfang der Webmaske. Auf diese Weise könnte adaptiv auf die vorhandenen Datenobjekte des Benutzers reagiert werden und die Bildung von SIPs im Pre-Ingest noch besser unterstützt werden.

5 Paketverarbeitung

Die interne Verarbeitung von Paketen, beispielsweise die Umwandlung von SIPs zu AIPs, übernimmt im DA-NRW der ContentBroker, eine Software-Eigenentwicklung, die auf allen beteiligten Speicherknoten zum Einsatz kommt und über diverse Schnittstellen an die übrigen Systembestandteile (iRODS, Presentation Repository, Datenbanken) angebunden ist.

Der ContentBroker führt Modifikationen an Paketen in wohldefinierten Schritten, den sogenannten *Actions* durch. Pakete werden hier als technisches Konzept aufgefasst und bezeichnen zusammengehörige Daten, die je nach Bearbeitungsstadium in einer gemeinsamen Ordnerstruktur oder in einem Container zusammengefasst sind. Diese Stadien entsprechen den organisatorischen Einheiten des OAIS-Informationsmodells. In Form einer Queue – also einer Datenbanktabelle – werden die notwendigen und bereits erfolgten Arbeitsschritte für die aktuell in Bearbeitung befindlichen Pakete auf allen Knoten im DA-NRW System aufgelistet.

Dabei verarbeitet der ContentBroker eines Archivknotens *Jobs*, wenn sie in der Queue erscheinen. Da ein Job jeweils einer Action entspricht und somit als wohldefinierter Arbeitsschritt gilt, kann der ContentBroker beliebige Jobs bearbeiten, ohne dass das System seinen wohldefinierten Zustand verlässt. Verschiedene Pakete können daher auch gleichzeitig bearbeitet werden und sich in unterschiedlichen Stadien befinden.

Diese Möglichkeit wird dazu genutzt, die einzelnen Actions priorisieren zu können. Daneben wird dadurch die Möglichkeit eröffnet, verschiedene Actions mitunter gleichen Typs (z.B. Packen von mehreren Paketen) synchron zu verarbeiten. Zusammen gewährleistet die beschriebene Vorgehensweise eine ressourcenschonende Nutzung der Hardware bei möglichst hohem Durchsatz. Die Priorisierung der Actions und die maximale Anzahl der gleichzeitig möglichen Actions pro Actiontyp sind dabei konfigurierbar.

Wesentliche Bestandteile der Paketverarbeitung sind die Identifikation der Formate der in den SIPs enthaltenen Dateien sowie die Konvertierung dieser Dateiformate. Die Konvertierung dient dabei der Sicherstellung der langfristigen Lesbarkeit der Daten einerseits und Zwecken der Publikation im Netz andererseits.

Die tatsächliche Formatidentifikation wird vom ContentBroker an das externe Programm FIDO [Op12] delegiert. Dabei ist FIDO funktional identisch mit DROID [Na13], jedoch mit wesentlich höherer Performanz [Sh10]. FIDO liefert dabei für jede erkannte Datei einen PRONOM-Identifizier [Na06] zurück. PRONOM Identifizier geben nicht nur Auskunft über das erkannte Dateiformat selbst, sondern enthalten auch Informationen über die Version eines Dateiformates. FIDO erkennt Formate mithilfe regulärer Ausdrücke und hat sich im Betrieb als robust, zuverlässig und schnell erwiesen. Die gefundenen Identifizier werden vom ContentBroker mit einer Liste von *Policies* abgeglichen. Für jedes erkannte Format wird eine Policy aktiviert, wodurch dann die Ausführung von assoziierten Konvertierungsroutinen in Gang gesetzt wird. Konvertierungsroutinen sind für das DA-NRW System zentral festgelegte und technisch auswertbare Beschreibungen von Formatkonvertierungen, die das Zielformat und das zu verwendende Werkzeug spezifizieren. Sie werden auf den entsprechenden Knoten des DA-NRW unterstützt, indem die spezifizierten Werkzeuge (wie z.B. ImageMagick zur Bildkonvertierung [Im13]) in der jeweils geforderten Programmversion installiert werden. Damit das DA-NRW als eine Einheit homogen agiert, sollen Konvertierungsroutinen reproduzierbare Ergebnisse bei Formatkonvertierungen, unabhängig von der sonstigen Hard- und Softwareausstattung des jeweiligen Knotens, liefern.

Ein Beispiel dafür aus einem tatsächlichen Workflow sind SIPs, die Dateien im JPEG-Format enthalten. In diesem Beispiel würde für jede JPEG-Datei eine Policy aktiviert werden, welche wiederum eine Konvertierungsroutine anstößt, die die Datei unter Verwendung von ImageMagick in das JPEG 2000 Format umwandelt. Abschließend würden die generierten Dateien zusätzlich zu den Originaldateien in das im Verlauf der Paketverarbeitung generierte AIP eingefügt.

6 Datenhaltung im DA-NRW

Eine Kernaufgabe des Projekts ist die Entwicklung einer informationstechnischen Lösung zur Unterstützung von Datenmanagementprozessen und der Ansteuerung der Speicherressourcen an den Knoten. Den einliefernden Einrichtungen gegenüber soll „das“ DA-NRW gemäß der bereits gezeigten Architekturdarstellung möglichst als *ein* einziges, gesamtheitliches System erscheinen. So ist es gewünscht, dass die Einlieferung von SIPs weitestgehend an allen Knoten in gleicher Weise möglich ist – das System soll sich also überall in gleicher Weise verhalten. So soll sowohl die Paketverarbeitung der

SIPs verteilt auf allen Knoten möglich sein, wie auch der spätere Zugriff (Retrieval) auf die Objekte von jedem Knoten aus.

Im Rahmen der Anbindung von beteiligten Rechenzentren ist es eine besondere Herausforderung, die bereits existierenden, unterschiedlich gewachsenen Hardwarelandschaften in das architektonische Gesamtkonzept möglichst nahtlos zu integrieren. In der aktuellen Systemarchitektur werden neben herkömmlichen SAN-Speichern auch Bandarchive eingesetzt, welche den Vorteil besonders niedrigen Strombedarfs und damit eines besonders nachhaltigen Speicherkonzepts bieten.

Hier besteht ein eindeutiger Zielkonflikt zwischen den abstrakten Anforderungen der Langzeitarchivierung und der Notwendigkeit, ein System in die Vorgaben einer bestehenden Landschaft von Dienstleistern kurzfristig einzubinden. Aus Sicht der Langzeitarchivierung wird die Vorgabe angestrebt, dass Speichermedien mindestens ein Jahr lang ohne Stromzufuhr überlebensfähig sein sollen. Dies läuft, wenn wir uns gleichzeitig auf weit verbreitete Medien konzentrieren, also Technologien ausschließen, die so experimentell sind, dass die benötigten Geräte ohne weiteres wieder vom Markt verschwinden können, derzeit zwangsläufig auf Bänder hinaus; das ökologische und ökonomische Argument, das besonders stichhaltig wird, wenn wir davon ausgehen, dass auf „langzeitarchivierte“ Daten u.U. mehrere Jahrzehnte nicht zugegriffen wird, wurde schon erwähnt. Da eine Reihe von IT Dienstleistern, die eingebunden werden sollen, in den letzten Jahren jedoch die Entscheidung getroffen haben aus anderen Gründen auf die Bandtechnologie zu verzichten, müssen derzeit andere Speichertechnologien in Kauf genommen werden.

Eine weitere, nicht zu vernachlässigende Anforderung liegt im Aufbau schneller und automatischer Abgleichmechanismen, die zwischen den Knoten benötigt werden. Ferner sollten einzelne Knoten theoretisch in der Lage sein, spezielle Technologien, etwa Konvertierungsroutinen für spezielle Formate, dem gesamten System zur Verfügung stellen zu können.

Insbesondere die Anforderung, das System nach außen als ein Verbundsystem betreiben und benutzen zu können, machte den Einsatz einer Rechnerstruktur nötig, die gemeinhin als *Grid*-Architektur bezeichnet wird. Das DA-NRW folgt hier dem Definitionsvorschlag von Ian Foster, der ein Grid als ein System beschreibt, in dem die Nutzung gemeinsamer Ressourcen dezentral koordiniert wird und standardisierte, offene Protokolle und Schnittstellen verwendet werden, um in der Konsequenz nicht triviale Dienste anzubieten. [Fo02]

Zum Betrieb des DA-NRW wurde als klassische „Middleware“-Komponente die Software iRODS des RENCİ-Forschungslabors [Re13] der University of North Carolina (UNC) in Chapel Hill, USA verwendet. Diese zeichnet sich durch ihre langjährige Genese als Grid-Software im Open-Source-Bereich aus. iRODS (Akronym für *Integrated Rule-Oriented Data-management System*) basiert auf der Software SRB [Sa12], die bereits einen vom tatsächlichen Aufbewahrungsort getrennten, logischen Namensraum liefert [Ra10]. Ein logischer Namensraum bedeutet: Das System iRODS trennt den tatsächlichen physikalischen Speicherort einer Datei von seiner hierarchischen Ordnerstruktur, der fortan als logischer Namensraum fungiert. Ein Dateiojekt des logischen Namensraumes kann so gleichzeitig mehrere physikalische Aufbewahrungs-

orte aufweisen, besitzt aber nur einen Bezeichner. Dieser Bezeichner fungiert als logische Adresse des Objekts. Der genannte Mechanismus erleichtert den einheitlichen Zugriff auf die Daten durch den ContentBroker und die Integritätssicherung über iRODS.

Im Gegensatz zu seinem Vorgänger SRB bietet iRODS zusätzlich eine Metadatenverwaltung und eine Komponente zum Datenmanagement, die so genannte *RuleEngine*. Mittels dieser können Zugriffs- und Verwaltungsfunktionen auf den Daten ausgeführt werden [Ra10]. Datenobjekte können in der Folge mit Metadaten versehen und gleichartige Verwaltungs- und Bearbeitungsfunktionen auf das Objekt angewendet werden. Die Verwaltungsfunktionen regeln Zugriffsrechte und Operationen auf den Daten, wie z.B. das automatische Erstellen und Ablegen von Kopien an mehreren Lokationen.

Die Software iRODS wird bereits in vielen internationalen Projekten für die Aufbewahrung digitaler Objekte eingesetzt und besitzt gerade eine hohe Reputation für das Datenmanagement von großen Einzelobjekten³. Da die Software außerdem bereits in einer Vielzahl von häufig akademisch getriebenen Projekten in der Verwaltung sehr großer Datenmengen verwendet wird, ist es absehbar, dass sich der Funktionsumfang von iRODS auch auf die erwarteten Datenmengen⁴ des DA-NRW gut anwenden lässt. iRODS ist auf einer Vielzahl von UNIX-Derivaten lauffähig und somit unproblematisch in der Kompatibilität.

Die Datenhaltung im DA-NRW wird in einem Verbund von iRODS-Servern erledigt, die in der Lage sind, die unterschiedlichen Hardwaresysteme zur Langzeitspeicherung an den Knoten anzusteuern. Auf diese heterogenen Speichersysteme wird das vollständig gebildete AIP übertragen; in der iRODS-Nomenklatur wird es dorthin „repliziert“. Durch die Verwendung unterschiedlicher Speichersysteme in der Datenhaltung – zum Einsatz kommen block- und hierarchisch orientierte Speichersysteme verschiedener Hersteller – wird eine sinnvolle Diversität der Aufbewahrungsmedien hergestellt [Ul09]. Die Datenhaltung der AIPs selbst erfolgt in unkomprimierten TAR Containern, die eine dem BagIt-Standard (Derzeit als IETF draft auf dem Wege zur verbindlichen Standardisierung [Bo11]) folgende Ordner-Binnenstruktur aufweisen und mit einer von iRODS erstellten Prüfsumme versehen werden.

Die Verwendung von AIPs, die sowohl auf der logischen, als auch auf der physikalischen Ebene ausschließlich auf öffentlich dokumentierte, breit eingesetzte und nicht proprietäre Standards aufsetzen, halten wir für eine der zentralen Anforderungen an den technischen Rahmen einer Langzeitarchivierungslösung. Hier stimmen wir der von TITAN erhobenen Forderung aus dem Multimediabereich voll zu [Ma08]. Da der am angegebenen Ort referenzierte AXIS Standard nicht weiter entwickelt zu worden scheint, und damit jedenfalls das Prinzip des breiten Einsatzes verletzt, wurde er nicht weiter berücksichtigt.

Nach der Replikation der AIPs, also der Kopie an die anderen Speicherknoten, wird die Prüfsumme des zuvor übertragenen Objekts dort erneut berechnet und mit derjenigen am

³ Viele Projekte aus dem High-Performance-Computing-Bereich, wie das CCIN2P3. Unter anderem auch die *Bibliothèque nationale de France* (BnF) und das *European Union Sustaining Heritage Access through Multivalent Archiving* (SHAMAN).

⁴ Nach Bedarfserhebungen zu Beginn des Projekts gehen wir von einer Startkapazität von etwa 200 TB aus.

Ausgangsknoten verglichen. Daraufhin wird eine valide Kopie des AIPs in der iRODS-internen Verwaltungsdatenbank iCAT angemeldet. In der Folge obliegt es im Rahmen des Projekts angepassten Systemprozessen, das Objekt über iRODS zyklisch zu prüfen.

Diese Prüfprozesse wurden hauptsächlich als umfangreiche iRODS Rules implementiert und enthalten eine Vielzahl von so genannten MicroServices, die zusammenhängend einen Workflow definieren, der die Objekte auf ihre Integrität hin überprüft. Für diese Integritätsprüfung werden die Objekte zyklisch tatsächlich von den Langzeitmedien angefordert, gelesen und ihre aktuelle Prüfsumme, in Form eines MD5 Ausdrucks, mit derjenigen verglichen, die zum Zeitpunkt ihrer Erstellung auf dem jeweiligen Medium generiert wurde. Bereits während der initialen Replikation eines neuen Objekts auf ein Langzeitmedium findet im Nachgang des Kopierprozesses solch eine Überprüfung erstmals statt. Diese Überprüfung dient neben der Integritätssicherung des Pakets auf dem Medium ebenfalls der generellen Synchronizitätsprüfung, da die Überprüfung nur dann als valide gilt, wenn alle Replikationen die gleiche Prüfsumme aufweisen und wenn die geforderte Anzahl an minimal erforderlichen Replikationen eines Objekts tatsächlich vorhanden ist.

Allen voran die Erfordernis eines gesonderten Logging-Prozesses im Fehlerfall, als auch die Verwendung von speziellen Medientypen, wie u.a. des Tivoli Storage Managers (TSM) von IBM⁵ und der generellen Nutzung von WORM Medien [Av09] stellten hier besondere Herausforderungen an die Datenhaltungsschicht dar, die eine aufwändigere Anpassung der Software erforderlich machten.

Die Migration von nicht mehr langzeitarchivierungsfähigen Formaten in geeignetere Dateiformate ist nicht Aufgabe dieser Schicht. Konzeptuell wird die Notwendigkeit der Migration von Datenobjekten mit bestimmten Formateigenschaften extern (durch eine kooperative Technology Watch) festgestellt. Der Content Broker stellt auf Grund der zu den AIPs gespeicherten technischen Informationen dann fest, welche AIPs betroffen sind, entnimmt in einem solchen Fall die betroffenen Pakete aus dem Langzeitspeicher und migriert die entsprechenden Dateien. Aus der Perspektive der iRODS-Schicht handelt es sich hier um einen gewöhnlichen Ingest & Retrieval-Prozess aus dem iRODS Repository (Client / Serverarchitektur). Gleiches gilt für das geplante Repackaging gemäß dem OAIS-Modell.

Da es sich als zweckmäßig herausgestellt hat, den ContentBroker in JAVA zu implementieren, kommuniziert diese Anwendung über eine eigene Schnittstelle, basierend auf der Jargon API, mit dem iRODS Server. Der ContentBroker ist so auch in der Lage, während der Paketverarbeitung eine verteilte Verarbeitung zu initiieren, wobei der iRODS Server den notwendigen physikalischen Kopierprozess an einen anderen Knoten übernimmt. Auf diese Weise können bestimmte Knoten eine dedizierte technische Verarbeitungskompetenz im Rahmen der Paketverarbeitung übernehmen.

⁵ Die Anbindung ist mittels des universellen Treibers MSS realisiert [IR12].

7 Präsentation

Die Veröffentlichung von digitalisiertem und digital geborenem Kulturgut im WWW ist in den letzten Jahren zu einer Selbstverständlichkeit für viele Institutionen geworden. Besonders die Entwicklung großer, spartenübergreifender Portale (Europeana, DDB) hat diesen Trend noch verstärkt und die Zugänglichkeit zu Kulturobjekten im Internet erheblich verbessert. Dennoch ist zur Teilnahme an solchen Initiativen ein gewisser technischer Aufwand für die Bereitstellung entsprechender Schnittstellen notwendig, der insbesondere von kleineren Institutionen oft nicht geleistet werden kann. Aus diesem Grund beinhaltet das DA-NRW eine zentrale Komponente zur Speicherung, Verwaltung und Vermittlung von Präsentationsobjekten, das Presentation Repository. Diese Präsentationsobjekte werden in Anlehnung an das OAIS-Modell im DA-NRW *PIPs* (Presentation Information Packages) genannt und bezeichnen speziell für das Web aufbereitete Derivate der eingelieferten Dateien.

Die Aufgabe des Presentation Repository ist im Wesentlichen die Aggregation der unterschiedlichen, digitalen Objekte. Dabei werden nicht nur Metadaten gespeichert und verfügbar gemacht, sondern auch die dazugehörigen Primärdaten. Dieses Feature entbindet Datenlieferanten von der Notwendigkeit, eigene Webserver betreiben zu müssen und garantiert die zuverlässige Verfügbarkeit konsistenter Objekte auch über längere Zeiträume hinweg.

Zur Kommunikation und Datenübermittlung an Dritte implementiert das Presentation Repository standardisierte, auf Webtechnologien aufbauende Schnittstellen für die automatisierte Abfrage kompletter (Teil-)Bestände zur lokalen Weiterverarbeitung (Harvesting) und die direkte Live-Suche in den vorhandenen Präsentations- und Metadaten. Hier zeigt sich ein weiterer Vorteil der zentralen Aggregation von Präsentationsobjekten: Komponenten zur Bereitstellung von Schnittstellen müssen nicht redundant bei den Institutionen betrieben werden und auf technologische Veränderungen kann an zentraler Stelle reagiert werden.

Das Presentation Repository ist direkt in den Workflow des DA-NRW eingebunden und kann damit von der Funktionen zur Formatverwaltung und -konvertierung des Content-Brokers profitieren. Die Wandlung in für die Präsentation im Web notwendige Derivate kann so parallel und analog zu den Konvertierungen in langzeitarchivfähige Formate stattfinden. Auch die Konvertierung der Metadaten nach standardisierten Schemata wird dabei vorgenommen. Die dabei entstehenden PIPs können dann an das Presentation Repository übertragen werden, wo über die angebotenen Schnittstellen auf sie zugegriffen werden kann, so dass sie von verschiedenen Diensten abgerufen werden und in unterschiedlichen Kontexten im Web präsentiert werden können.

Um den Aufwand bei der Entwicklung des Presentation Repository möglichst gering zu halten und im Rahmen der verfügbaren Mittel eine stabile Anwendung zur Präsentation der veröffentlichten Objekte anbieten zu können, wurde bereits zu Anfang des Projekts die Entscheidung gefällt, eine Open-Source-Repository-Software einzusetzen. Aufgrund der Flexibilität und der modularen Struktur fiel die Wahl auf Fedora Commons [Fe13].

Leider traten im Laufe des Projekts und bei steigender Datenmenge auch die Schwächen von Fedora zu Tage. Insbesondere der integrierte Mulgara-Triple-Store zur Verwaltung

des Resource Index, aber auch einfache IO-Operationen sorgten mit steigender Anzahl der von Fedora verwalteten Objekte für erhebliche Performanzprobleme. Aus diesen Gründen wird Fedora in der kommenden Projektphase durch eine andere Repository-Lösung ersetzt werden. Die Entscheidung, ob es sich dabei um ein anderes Open-Source-Produkt oder um eine Eigenentwicklung handeln wird, steht zum aktuellen Zeitpunkt noch aus.

Bezüglich der Schnittstellen des Repository hat sich gezeigt, dass Dritte im Wesentlichen über zwei Arten von Schnittstellen auf die Präsentationsdaten zugreifen. Zum einen hat sich OAI-PMH [La02] als Format für den Austausch von Metadaten zwischen Repositorien etabliert. Zum anderen ist es aber notwendig, eine zusätzliche Schnittstelle anzubieten, die eine Live-Suche in den vorhandenen Daten ermöglicht, damit auch Anwendungen ohne eigenen Suchindex gezielte Abfragen im Datenbestand ausführen können. OAI-PMH konnte mit Hilfe des Fedora-Plugins *oaiprovider*, welches auf PrOAI basiert [Pr09], realisiert werden. Die Implementation der Suchschnittstelle erfolgte auf Basis von Elasticsearch [El13].

8 Ausblick/Fazit

Die dargestellte Implementation eines digitalen Archivs macht deutlich, dass eine Langzeitarchivierungslösung, die sich durch Bitstream Preservation an mehreren Lokationen, automatische Konvertierung und optionale Präsentation auszeichnet, nicht nur prinzipiell möglich, sondern auch ressourcensparend praktisch umsetzbar ist. Auch wenn im Laufe des Projekts bei manchen Komponenten und Konzepten Schwächen zu Tage traten, so zeigte sich doch, wie eine Vielzahl von bekannten Standards und Tools zusammen mit schlanken, diese integrierenden Eigenentwicklungen miteinander kombiniert werden kann, damit eine möglichst robuste, praxistaugliche Verbundlösung für eine möglichst breite Zielgruppe angeboten werden kann.

Mittelfristig ist die Erweiterung der bestehenden Architektur besonders in den Bereichen Obsoleszenzüberwachung und Präsentation geplant. So soll es möglich sein Dateien, die in zukünftig als obsoleszent markierten Formaten vorliegen, zu diesem Zeitpunkt automatisiert in andere Formate zu migrieren. Um die Zugänglichkeit des Archivmaterials für einen breiten Nutzerkreis mit Hilfe von Webportalen zu verbessern, wurde begonnen ein komplexeres, domänenübergreifendes Metadatenmodell auf Basis von EDM [Eu13] zu implementieren.

Grundsätzliche Herausforderungen für die Zukunft bestehen allerdings in einer besseren Unterstützung des gesamten Pre-Ingest Prozesses. Zwar haben sich inzwischen, sowohl für Primär- als auch für Metadaten, Standards etabliert, jedoch zeigt sich, dass die Anwendung und Interpretation dieser Standards in der Praxis sehr unterschiedlich ausfällt, wodurch eine automatisierte Verarbeitung erheblich erschwert wird. Außerdem variiert die Qualität der vorhandenen Daten je nach technischer, personeller und finanzieller Ausstattung der jeweiligen Institution stark. Die Entwicklung technischer Lösungen zur Unterstützung der Abgabe vor Ort kann hier helfen, Hürden abzubauen.

Literaturverzeichnis

- [Av09] Avisaro: Digitale, wechselbare Speichermedien. Hannover, 2009. URL: <http://www.avisaro.com/tl/datentraeger.html> (12.06.2013).
- [Bo11] Boyko, A. et al: The BagIt File Packaging Format (V0.97). Washington D.C., 2011. URL: <http://tools.ietf.org/html/draft-kunze-bagit-09> (29.04.2013).
- [Co12] Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) – Recommendation for Space Data System Practices: Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS). Magenta Book, Washington D.C., USA, 2012. URL: <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0m2.pdf> (16.04.2013).
- [DA13a] DA-NRW: Wiki – Technische Spezifikationen. Köln, 2013. URL: <http://da-nrw.hki.uni-koeln.de/projects/danrwpublic/wiki/SIP-Spezifikation> (17.04.2013).
- [DA13b] DA-NRW: Contract Schema. Köln, 2013. URL: <http://www.da-nrw.de/schemas/contract/v1/DA-NRW-contract-1.xsd> (17.04.2013).
- [DA13c] DA-NRW: Projektwebseite. Köln, 2013. URL: <http://www.danrw.de/> (17.04.2013).
- [El13] Elasticsearch: Elasticsearch. Flexible and powerful open source, distributed real-time. Amsterdam, 2013. URL: <http://www.elasticsearch.org/> (17.04.2013).
- [Eu13] Europeana: Europeana Data Model (EDM) Documentation. Den Haag, 2013. URL: <http://pro.europeana.eu/edm-documentation> (29.04.2013).
- [Fe13] Fedora Commons: Fedora Commons Repository Software. Winchester (USA), 2013. URL: <http://fedora-commons.org/> (17.04.2013).
- [Fl12] Florida Digital Archive: Recommended Data Formats for Preservation Purposes. Florida, 2012. URL: <http://fclaweb.fcla.edu/uploads/recFormats.pdf> (17.04.2013).
- [Fo02] Foster, I.: What is the Grid? A Three Point Checklist. Chicago, 2002. URL: <http://www.mcs.anl.gov/~itf/Articles/WhatIsTheGrid.pdf> (16.04.2013).
- [Im13] ImageMagick: Convert, Edit, and Compose Images. Pennsylvania, 2013. URL: <http://www.imagemagick.org/script/index.php> (17.04.2013).
- [IR13] IRODS: Data Grids, Digital Libraries, Persistent Archives, and Real-time Data Systems. North-Carolina, 2013. URL: <http://www.irods.org> (16.04.2013).
- [IR12] IRODS: MSS Driver. North-Carolina, 2012. URL: https://www.irods.org/index.php/Universal_Mass_Storage_System_driver (12.06.2013).
- [La02] Lagoze, C. et. al. (Hg.): The Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting (OAI-PMH). USA, 2002. URL: <http://www.openarchives.org/OAI/openarchivesprotocol.html> (17.04.2013).
- [Li13] Library of Congress: PREMIS – Preservation Metadata Maintenance Activity. Washington D.C., 2013. URL: <http://www.loc.gov/standards/premis/> (17.04.2013).
- [Ma08] Maréchal, G. (TITAN): The AIP is the cornerstone of the implementations of OAIS. San Francisco, 2008. URL: http://lib.stanford.edu/files/pasig-spring08/GuyMarechal_FedArchivesAIP.pdf (29.04.2013).
- [Na06] National Archives: The technical registry PRONOM. Surrey (UK), 2006. URL: <http://www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM/Default.aspx> (17.04.2013).
- [Na13] National Archives: DROID: file format identification tool. Surrey (UK), 2013. URL: <http://www.nationalarchives.gov.uk/information-management/projects-and-work/droid.htm> (17.04.2013).
- [Op12] Open Planets Foundation: FIDO. Wetherby (UK), 2012. URL: <http://www.openplanetsfoundation.org/software/fido> (17.04.2013).

- [Pr09] Proai: OAI Provider Library. USA, 2009. URL: <http://proai.sourceforge.net/> (17.04.2013).
- [Ra10] Rajasekar, A. et. al.: iRODS Primer: Integrated Rule-Oriented Data System. Kalifornien, 2010.
- [Re13] Renaissance Computing Institute (RENCI): About. North-Carolina, 2013. URL: <http://www.renci.org/about> (16.04.2013).
- [Sa12] San Diego Supercomputer Center (SDSC): SRB – The DICE Storage Resource Broker. North-Carolina / Kalifornien, 2012. URL: http://www.sdsc.edu/srb/index.php/Main_Page (17.04.2013).
- [Sh10] Sharpe, R.: FIDO / DROID comparison. Beitrag auf: FIDO – a high performance format identifier for digital objects. Open Planets Foundation. Wetherby (UK), 17.11.2010. URL: <http://www.openplanetsfoundation.org/blogs/2010-11-03-fido-%E2%80%93-high-performance-format-identifier-digital-objects> (12.06.2013).
- [Th13] Thaller, M. (Hg.): Das Digitale Archiv NRW in der Praxis. Eine Softwarelösung zur digitalen Langzeitarchivierung. Hamburg, 2013.
- [Ul09] Ulrich, D: Bitstream Preservation. In Neuroth, H. et. al.: nestor Handbuch – Eine kleine Enzyklopädie der Langzeitarchivierung. Version 2.0, Boizenburg, 2009. URL: http://nestor.sub.uni-goettingen.de/handbuch/artikel/nestor_handbuch_artikel_346.pdf (17.04.2013).
- [We09] WebDAV: Specifications. USA, 2009. URL: <http://www.webdav.org/specs/> (12.06.2013).