

Die IMW Messnetzzentrale

Von der Anforderungsanalyse zum Regelbetrieb

ÖWAV Seminar, 29. Juni 2004

Andreas Haumer, xS+S
<http://www.xss.co.at/>

Kurzfassung: Im Rahmen des Projekts „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ (IMW) wurde von xS+S im Jahr 2002 eine Messnetzzentrale für ein Online-Messnetz zur Überwachung der Wasserqualität in unterschiedlichen Anwendungsszenarien implementiert, die seither im produktiven Messnetzbetrieb arbeitet. Der vorliegende Artikel gibt Einblick in dieses Projekt, erläutert die Herausforderungen und Lösungswege und zieht Bilanz über ein erfolgreiches Software-Entwicklungsprojekt aus der Sicht des Projektverantwortlichen.

Key-Words: Messnetzzentrale, Messnetzbetrieb, Anforderungsanalyse, Software-Entwicklung, Projektmanagement

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
2. Anforderungen an die Messnetzzentrale.....	5
2.1 Allgemein.....	5
2.1.1 Das Online-Messnetz.....	5
2.1.2 Die Messnetzzentrale.....	5
2.2 Das IMW Projekt.....	6
3. Projektmanagement.....	8
3.1 Phasen.....	8
3.1.1 Inception.....	8
3.1.2 Elaboration.....	8
3.1.3 Construction.....	9
3.1.4 Transition.....	9
3.2 Iterationen.....	9
3.3 Deliveries.....	10
3.4 Human Resources.....	11
3.5 Projektumfang.....	11
3.6 Werkzeuge.....	11
3.6.1 Kommunikation.....	11
3.6.2 Software Configuration Management.....	12
3.6.3 Defect & Change Management.....	12
3.6.4 Paket und Release Management.....	12
3.7 Entwicklungsumgebung.....	13
4. Wesentliche Konzepte und Designentscheidungen.....	14
4.1 Datenmodell.....	14
4.2 Client/Server Datenbank.....	15
4.3 Datenreplikation.....	16
4.4 Client/Server Datenübertragung.....	16
4.5 Berechnung und Aggregation.....	17
4.6 Plausibilisierung.....	18
4.7 Zustandsüberwachung und Alarmierung.....	18
4.8 Benutzer- und Rechteverwaltung.....	19
4.9 Web-basiertes User-Interface.....	19
5. Architektur des Systems.....	24
5.1 Logische Struktur des Messnetzes.....	24
5.2 Logische Struktur der Messnetzzentrale.....	25
5.3 TCP/IP Netzwerkstruktur.....	27
5.4 Hardware.....	29
5.5 Software.....	29
5.5.1 Betriebssystem.....	29
5.5.2 Datenbank Managementsystem.....	30
5.5.3 Anwendungssoftware.....	30
5.6 Kommunikationsinfrastruktur.....	30
6. Besondere technische Herausforderungen und Lösungen.....	31
6.1 Datenreplikation.....	31
6.2 Spektrometrie.....	31
6.2.1 Datenmodell.....	31
6.2.2 Datenrate und Datenmenge.....	32

6.2.3 Datenübertragung.....	32
6.2.4 Auswertungen.....	33
6.3 Konfiguration der Messstationen.....	35
6.4 Heterogene Kommunikations-Infrastruktur.....	36
7. Produktionsbetrieb.....	38
7.1 Start des Messnetzbetriebs.....	38
7.2 Erweiterungen und Modifikationen.....	38
7.3 Aktueller Stand.....	38
7.4 Wartung und Support.....	39
8. Zusammenfassung.....	40
9. Danksagung.....	41

1. Einleitung

Die Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ (IMW) hat sich im Jahre 2000 das Ziel gesetzt, ein praxistaugliches Online-Messnetz zur kontinuierlichen Erfassung von Messwerten aus unterschiedlichen wasserwirtschaftlichen Aufgabensstellungen aufzubauen und zu betreiben. Die dabei zum Einsatz kommende Infrastruktur sollte neueste Erkenntnisse auf dem Gebiet der Mess- und Informationstechnik integrieren und so die Eignung dieser Technologien für den kontinuierlichen Betrieb in der Praxis unter Beweis stellen.

Neben einigen anderen Unternehmen wurde auch xS+S im Jahre 2001 von der Forschungsgemeinschaft IMW eingeladen, ein Konzept und ein Angebot zur Realisierung der Messnetzzentrale für dieses Projekt zu erstellen und erhielt schließlich im Jänner 2002 den Auftrag zur Umsetzung des Konzepts und zur Implementation der Messnetzzentrale. Dieses Projekt wurde im Laufe des Jahres 2002 durchgeführt und das Messnetz in einer ersten Ausbaustufe Anfang 2003 in Betrieb genommen.

Der vorliegende Artikel beschreibt im Rückblick und aus den Erkenntnissen von fast zwei Jahren Produktionsbetrieb dieses sehr interessante Projekt aus der Sicht des Projektverantwortlichen für die Architektur, das Design und die Implementation der IMW Messnetzzentrale, gibt Einblicke in die Herausforderungen und gewählten Lösungsstrategien des Software-Entwicklungsteams und versucht, aus den erzielten Ergebnissen Schlussfolgerungen und Strategien für die Zukunft abzuleiten.

2. Anforderungen an die Messnetzzentrale

Die Zentrale für ein Online-Messnetz ist ein aufwändiges, komplexes System und muss eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen. Zu Beginn eines derartigen Projekts ist es daher von großer Wichtigkeit, diese Anforderungen unter den verschiedenen Gesichtspunkten aller am Projekt beteiligten Personen zu erheben und möglichst exakt und umfassend zu spezifizieren.

2.1 Allgemein

Dieses Kapitel bietet eine kurze Einführung in die Umwelt Online-Messtechnik. Eine ausführlichere Behandlung dieses Themas findet sich im Artikel „Informationstechnische Konzepte für Online-Wassergütemessnetze“ von Andreas Haumer, erschienen 2004 in den Wiener Mitteilungen, Band 187, anlässlich des ÖWAV Seminars „Datengewinnung, -verwaltung und -nutzung in der Wassergütewirtschaft“

2.1.1 Das Online-Messnetz

In einem Online-Messnetz werden einzelne Eigenschaften vieler unterschiedlicher physikalischer Größen kontinuierlich erfasst, aufbereitet, zentral gespeichert, verarbeitet und für die Weiterverarbeitung zugänglich gemacht. Die einzelnen Arbeitsschritte sollten dabei möglichst ohne oder nur mit geringer manueller Interaktion ablaufen, um auch geographisch weit ausgedehnte Messnetze, große Datenmengen und kurze Messintervalle kostengünstig betreiben und verarbeiten zu können.

Die wesentliche Aufgabe eines Online-Messnetzes ist also die automatische und kontinuierliche Erfassung, Speicherung, Aufbereitung und Präsentation von Messdaten mehrerer geographisch verteilter Probenahmestellen mit hoher Aktualität und in geeigneter Qualität.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe besteht ein Online-Messnetz aus einer großen Zahl von mess- und informationstechnischen Komponenten, wie z.B.:

- Sensoren
- Messstationen
- Datenübertragungseinrichtungen
- Messnetzzentrale

Der vorliegende Artikel beschäftigt sich in weiterer Folge hauptsächlich mit der Komponente „Messnetzzentrale“

2.1.2 Die Messnetzzentrale

Die Messnetzzentrale stellt das übergeordnete Steuersystem für das gesamte Online-Messnetz dar. Sie verfügt über Hard- und Software-Komponenten zur Steuerung der Messstationen, Aufbereitung, Verarbeitung und Speicherung der Messergebnisse und Schnittstellen zu den Anwendern und externen Systemen. Ohne Messnetzzentrale ist der Betrieb eines Online-Messnetzes nicht möglich.

Die Messnetzzentrale hat die Aufgabe, die an das Online-Messnetz gestellten Anforderungen optimal zu unterstützen. Dazu gehören unter anderem:

- Verwaltung und Steuerung des Messnetzbetriebs

- Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle
- Manuelle Dateneingabe und Korrektur
- Datenauswertung
- Durchführung von Routineaufgaben
- Überwachung und Alarmierung
- Datenspeicherung und Datenweitergabe

Die Position der Messnetzzentrale im Zentrum des Online-Messnetzes ermöglicht die Durchführung von Aufgaben, die an anderer Stelle im Messnetz wie z.B. in einer Messstation nicht durchführbar sind. Dazu gehören etwa alle Aufgaben aus den Bereichen der Qualitätssicherung oder Überwachung, für die der Zugriff auf die Messwerte verschiedener Probenahmestellen erforderlich ist. Auch die Langzeit-Datenspeicherung sowie die Auswertung und Weitergabe von höher aggregierten Daten können nur sinnvoll in der Messnetzzentrale durchgeführt werden.

2.2 Das IMW Projekt

Die Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“, bestehend aus drei Universitätsinstituten und einem Ingenieurbüro, hat sich zur Aufgabe gesetzt, drei unterschiedliche Messaufgaben aus dem Bereich der Wasserwirtschaft mit moderner Online-Messtechnik zu lösen und dabei die Tauglichkeit der Messverfahren und Messeinrichtungen im Praxisbetrieb zu bewerten.

Aus der Erfahrung vorangegangener Projekte sollte ein modernes Messnetz mit allen erforderlichen Komponenten entstehen, das den kontinuierlichen Messnetzbetrieb in der Praxis über einen längeren Zeitraum für mehrere Messstationen erlaubt.

Jedes am Projekt beteiligte Universitätsinstitut stellte sich dabei einer bestimmten, eigenen Messaufgabe:

- Kanal Monitoring
- Kläranlagen-Monitoring
- Monitoring von Oberflächenwasser

Die zur Realisierung dieser Messaufgaben erforderlichen Komponenten sollten in einem einheitlichen Messnetz zusammengefasst werden. Die naturgemäß dafür benötigte Messnetzzentrale sollte alle Anforderungen erfüllen und flexibel genug sein, auch zukünftige Erweiterungen und Konfigurationsanpassungen einfach und ohne allzu großen Änderungsaufwand zu unterstützen.

Nähere Informationen zum IMW Projekt und den einzelnen messtechnischen Schwerpunkten finden sich auf der Webseite des Projekts unter <http://www.imw.ac.at/>

Die Vorstellungen und Anforderungen des Projektteams an das Messnetz im Allgemeinen und an die Messnetzzentrale im Besonderen wurden in einem mehrseitigen Dokument spezifiziert, das im Herbst 2001 allen interessierten Unternehmen zur Verfügung gestellt wurde.

Die vorgelegte Anforderungsspezifikation für die IMW Messnetzzentrale umfasste unter anderem folgende Punkte:

- Funktionen für den Betrieb, die Parametrierung und die Steuerung des Messnetzes und der Messstationen durch die Benutzer der Messnetzzentrale
- Funktionen zur Plausibilisierung der Messwerte nach mehreren, konfigurierbaren Kriterien, mit der Möglichkeit zur entsprechenden Markierung der Messwerte in der Datenbank
- Funktionen für Fernwartung, Überwachung und Alarmierung
- Netzwerktransparente Schnittstellen zur Bedienung der Messnetzzentrale über eine grafische Benutzeroberfläche auch über das Internet
- Mehrstufige Benutzer- und Rechteverwaltung
- Möglichkeiten und Schnittstellen für den Zugriff auf den Datenbestand durch externe Programme

Aus der Erfahrung ähnlicher, vergangener Projekte und nach gründlicher Analyse der vom IMW Projektteam genannten Anforderungen, konnte xS+S ein überzeugendes Konzept für die Realisierung der im IMW Projekt geplanten Messnetzzentrale präsentieren. Dabei wurden auch die Ergebnisse und Erfahrungen der zuvor im Projekt LIFE99 in Zusammenarbeit mit der Wiener Universität für Bodenkultur implementierten Software zur Übertragung, Speicherung und Präsentation von Wassergüte-Messdaten im Internet mit einbezogen.

3. Projektmanagement

Ein Software-Projekt dieser Größenordnung benötigt ein sorgfältiges und effizientes Projektmanagement, um das Projekt erfolgreich zum Abschluss zu bringen. xS+S setzt für derartige Aufgaben seit einiger Zeit Managementmethoden in Anlehnung an den *Rational Unified Process* ein, um einen geordneten Ablauf von großen Software-Projekten sicherzustellen.

3.1 Phasen

Das gesamte Projekt zur Implementation der IMW Messnetzzentrale wurde in mehrere Phasen unterteilt. Diese Phasen stellen im Sinne des *Rational Unified Process* den Rahmen für den Ablauf eines Softwareprojekts dar, der sequentiell durchlaufen wird. Jede der genannten Phasen wird jedoch selbst wieder in einzelne Phasen zerlegt, die ihrerseits den gesamten Entwicklungsprozess widerspiegeln, wodurch der gesamte Prozess stark iterativ abläuft.

Ziel jeder einzelnen Phase ist die kontinuierliche Verfeinerung und Erweiterung des Softwaresystems bis zum Endprodukt und gleichzeitig die schrittweise Reduktion aller Risiken, die das Projekt gefährden könnten, unter Einbeziehungen der Erfahrungen und Ergebnisse vorangegangener Phasen.

3.1.1 Inception

In der Inception Phase erfolgt die Ermittlung der groben Anforderungen, die Ausarbeitung der wesentlichen Use-Cases bis hin zu einem bestimmten Detaillierungsgrad und es werden die ersten Überlegungen zur möglichen Architektur des Systems und zum daraus resultierenden Aufwand angestellt. Einzelne Komponenten des Systems werden bereits in dieser Phase implementiert, um die Sinnhaftigkeit, den Implementationsaufwand und die Benutzbarkeit von Konzepten und möglichen Architekturen zu bewerten.

Die Inception Phase für das IMW Projekt wurde von xS+S bereits mit Vorliegen der ersten Anforderungen und Einladung zur Angebotslegung begonnen und umfasste im Wesentlichen die Ausarbeitung und Evaluierung der Konzepte, Implementation erster Testsysteme, Abschätzung des Aufwands und Erstellung des Realisierungsvorschlags und des schriftlichen Angebots. Das von xS+S ausgearbeitete Konzept wurden im Oktober 2001 bei einer Präsentation gemeinsam mit der Firma s::can dem IMW Projektteam vorgestellt und in weiteren Besprechungen im Dezember 2001 weiter erläutert und präzisiert.

Mit Vergabe des Auftrags zur Implementation der IMW Messnetzzentrale im Jänner 2002 an xS+S wurde die Inception Phase beendet und es erfolgte ein relativ rascher Übergang in die Elaboration Phase.

3.1.2 Elaboration

Die Elaboration Phase umfasst die Ausarbeitung der Software-Architektur, die Ausarbeitung und Detail-Spezifikation der Use-Cases und sonstigen Anforderungsdetails an das Produkt. Architektur- und Design-Entscheidungen werden getroffen und durch Implementation und Test einzelner Teilkomponenten überprüft.

Im IMW Projekt umfasste die Elaboration Phase im Wesentlichen die Ausarbeitung des Pflichtenheftes für die Messnetzzentrale gemeinsam mit dem Auftraggeber (Software Requirement Specification, SRS). Gleichzeitig wurde intern mit der Erstellung der Software-

Architektur und der Implementation der ersten Test-Komponenten begonnen. Zusätzlich wurde gemeinsam mit dem zweiten Auftragnehmer, der Firma s::can, als Lieferant der Messstationen die Definition der Schnittstelle zwischen der Messstation und der Messnetz-zentrale in Form des Datenübertragungsprotokolls ausgearbeitet, wobei auf bereits getroffene Entscheidungen und Testergebnisse bezüglich System-Architektur zurückgegriffen werden konnte.

Die Elaboration Phase wurde in mehrere Iterationen unterteilt. Der Umfang der Anforderungen und die Menge der Use-Cases machte eine Unterteilung des Pflichtenheftes in mehrere Einzel-Module erforderlich. Die Anzahl der am Projekt beteiligten Institutionen und die Verteilung der Zuständigkeiten erforderte einigen Kommunikationsaufwand und Geduld bei der jeweils abschließenden Entscheidungsfindung. Die Ausarbeitung des Datenübertragungsprotokolls wurde ebenfalls iterativ in mehreren Schritten durchgeführt.

Die Elaboration Phase wurde nicht abrupt beendet sondern es erfolgte im Mai und im Juni 2002 ein langsamer Übergang von der Elaboration Phase in die Construction Phase des Projekts.

3.1.3 Construction

Die Construction Phase beinhaltet in der Regel die Implementation der wesentlichen und grundlegenden Software-Komponenten des Produkts. Es erfolgt die Implementation von funktionierenden und testfähigen Software-Modulen für die wichtigsten Use-Cases des Systems. Auch die Construction Phase wird zur Reduktion des Risikos in der Regel in mehreren Iterationen durchlaufen und so die Funktionalität des Software-Produkts schrittweise vergrößert.

Im IMW Projekt wurde der Übergang von der Elaboration in die Construction Phase im Mai und Juni 2002 schrittweise vollzogen. Da die Architektur der Messnetzzentrale mehrere, voneinander unabhängige Module vorsieht, konnte die Implementation dieser Module ebenfalls in unabhängigen Arbeitsschritten erfolgen.

Grundlegende Komponenten wie wesentliche Teile des Datenmodells oder Software-Schnittstellen für allgemeine Bibliotheken oder das Web-Interface wurden bereits im ersten Iterationsschritt fertig gestellt und getestet. Darauf aufbauende Softwaremodule wie die verschiedenen Applikationen mit einer grafischen Benutzerschnittstelle und anwendungsbedingt eigenständige Komponenten wie die Programme zur Datenreplikation oder Alarmierung wurden in den darauf folgenden Iterationsschritten implementiert und getestet.

3.1.4 Transition

Die Transition Phase umfasst die schrittweise Installation und Inbetriebnahme der funktionsfähigen Teilkomponenten und wird in der Regel ebenfalls in mehreren Iterationen durchgeführt.

Im IMW Projekt wurde die Transition-Phase mit der Installation der wesentlichen Haupt-Module der Messnetzzentrale Ende September 2002 begonnen und mit der Installation der letzten Module im Jänner 2003 abgeschlossen.

3.2 Iterationen

Wie erwähnt ist eine wesentliche Eigenschaft der gewählten Projektmanagementmethode die Unterteilung sowohl des Gesamtprojekts als auch der einzelnen Phasen in mehrere Ite-

rationen. Als Folge dieser Vorgangsweise wird das Gesamtsystem in mehreren Schritten fertig gestellt, wobei in jedem Iterationsschritt ein Teilsystem realisiert wird. Die für den Anwender sichtbare Konsequenz dieser Vorgangsweise ist die Unterteilung der Gesamtfunktionalität in einzelne Module, sowie die schrittweise Inbetriebnahme der Software mit Beginn der Transition-Phase. Der Anwender hat damit die Möglichkeit, Teil-Funktionen des Systems bereits im Echtbetrieb zu testen und Rückmeldungen an das Entwicklungs-Team zu liefern, noch während sich andere geplante Teil-Funktionen in der Entwicklung befinden.

Wesentliches Ziel des Projektmanagements in jeder Phase und bei jedem Iterationsschritt des Projekts ist die Reduzierung des Projektrisikos durch Unterteilung der Aufgaben in überschaubare Einheiten.

3.3 Deliveries

Im Zuge des Projekts wurde eine Reihe von Dokumenten erstellt, Software wurde implementiert und installiert und Hardware wurde geliefert und in Betrieb genommen. Die Liste dieser *Deliveries* eines typischen Softwareprojekts umfasst für die Messnetzzentrale im IMW Projekt unter anderem:

- **Pflichtenheft**
Textdokument zur Beschreibung der Anforderungen an die IMW Messnetzzentrale
- **Lexikon**
Textdokument mit einer Aufstellung der im Rahmen des Projekts geprägten Begriffe und Definitionen
- **DFÜ Protokollspezifikation**
Textdokument zur formalen Spezifikation des Protokolls zum Austausch von Daten und Steuerbefehlen zwischen der Messnetzzentrale und der Messstation der Firma s::can. Dieses Protokoll wurde speziell für das IMW Projekt neu entwickelt und spezifiziert.
- **Betriebssystem-Software**
Als Betriebssystem für alle messnetzspezifischen Server im IMW Projekt wird die xS+S Basis Linux Distribution (xS+S Kommunikationsserver) benutzt.
- **Applikations-Software**
Das komplette Software-Paket der IMW Messnetzzentrale mit allen Bibliotheken, Programmen und Script-Dateien, die zur Installation und zum Betrieb der speziellen Applikationen sowohl des IMW-Zentralserver als auch der IMW Auswerteserver erforderlich sind.
- **Hardware**
Die Server-Hardware für den IMW Zentralserver und die Auswerteserver wurde ebenfalls von xS+S im Rahmen des Projekts geliefert.
- **Installationsplan**
Durchführungs- und Ablaufplan für die Installation der einzelnen Hard- und Softwarekomponenten während der Transition-Phase
- **Benutzermanual**
Textdokument mit einer Anleitung zur Bedienung der wesentlichen Funktionen der Messnetzzentrale durch den Anwender

- Administratormanual
Textdokument mit einer Anleitung zur Administration der Messnetzzentrale durch den Messnetz- und System-Administrator
- Beschreibung des Datenmodells
Textdokument mit der formalen Spezifikation des in der IMW Messnetzzentrale benutzten Datenmodells. Dieses Dokument dient als Grundlage für die Erstellung und Konfiguration von Zusatzsoftware, die auf den vorhandenen Datenbestand der IMW Messnetzzentrale zugreifen soll.

3.4 Human Resources

Insgesamt waren an dem Projekt bei xS+S fünf Personen in unterschiedlichen Rollen und Aufgabengebieten an der Entwicklung des Systems beteiligt. Der Gesamtaufwand vom Beginn des Projekts im Oktober 2001 bis zur Lieferung der Software in der Version 1.0 Anfang 2003 (Product Release Milestone) betrug ca. 3 Mannjahre.

3.5 Projektumfang

Die Version 1.0 der für das Projekt erstellten gesamten Applikations-Software der IMW Messnetzzentrale enthält ca. 115000 Lines of Code (LOC) in den Programmiersprachen C, PHP und PL/SQL, das Datenmodell besteht aus knapp 60 Tabellen mit etwa 360 Spalten und mehr als 100 Stored Procedures.

3.6 Werkzeuge

In jedem größeren Software Projekt ist die sinnvolle Verwendung geeigneter Werkzeuge ein wesentlicher Faktor für die erfolgreiche Durchführung des Projekts. Der Wahl der Arbeitsmittel kommt dabei entscheidende Bedeutung zu: nicht jedes Werkzeug ist für jedes Projekt geeignet und die eingesetzten Werkzeuge müssen von den Projektbeteiligten auch richtig beherrscht und angewendet werden. Zu den Projektbeteiligten zählen in diesem Zusammenhang auch die Mitarbeiter des Auftraggebers, die natürlich ebenfalls mit den zum Einsatz kommenden Werkzeugen vertraut sein müssen, zumindest soweit sie von der Anwendung der jeweiligen Werkzeuge direkt betroffen sind.

Für das IMW Projekt stützte sich xS+S daher ausschließlich auf bewährte Werkzeuge, mit denen es bereits langjährige Erfahrung aus einer großen Anzahl von erfolgreichen Projekten gibt.

3.6.1 Kommunikation

Eine große Herausforderung in diesem Projekt war die Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten. Da auf Auftraggeberseite vier eigenständige und unabhängige Institutionen und auch auf Auftragnehmerseite zwei unabhängige Unternehmen beteiligt waren, musste ein Verfahren benutzt werden, dass die Kommunikation zwischen allen Beteiligten verlässlich sicherstellt. Als Mittel der Wahl wurde dafür natürlich E-Mail benutzt, und zwar in Form von mehreren Mailing-Listen.

Diese Kommunikationsform wurde während des Projekts auch ausgiebig benutzt. In den Mail-Archiven bei xS+S finden sich in den verschiedenen Mailing-Listen knapp 1500 Mails zum IMW Projekt.

Daneben wurden vor allem in der Inception und der Elaboration Phase regelmäßige Besprechungen und persönliche Treffen zwischen den Projektbeteiligten abgehalten und natürlich war in dringenden Fällen das gute, alte Telefon ein beliebtes Kommunikations-Werkzeug.

3.6.2 Software Configuration Management

Zur Verwaltung des Programm-Quellcode, Scripts zur Pflege des Datenmodells und der Basis-Metadaten, System-Konfigurationsdateien, Dokumentation und anderer manuell für das Projekt erstellten Dateien wurde das *Concurrent Versions System* (CVS) benutzt. CVS ist ein multiuser- und netzwerkfähiges Werkzeug zur Datei- und Versionsverwaltung, das auch die Zusammenarbeit mehrerer, dislozierter Entwickler erlaubt. xS+S benutzt dieses System seit vielen Jahren erfolgreich zum Management einer großen Zahl von Software-Projekten und verwaltet damit derzeit knapp 600 Software-Module mit ca. 6,5 GB an Quellcode und Dokumentation. CVS ist in die Software-Entwicklungsumgebung bei xS+S gut integriert, wodurch z.B. automatisierte Builds und die Erstellung von installierbaren Software-Paketen für alle aktuellen und zurückliegenden Releases jederzeit einfach möglich ist.

Für das IMW Projekt wurde ein eigenes Modul im xS+S CVS Repository angelegt und in die vorhandene Infrastruktur integriert.

3.6.3 Defect & Change Management

In jedem größeren Software-Projekt kommt es unweigerlich zu kleineren und größeren Fehlern sowie zu Änderungen der Anforderungen an die Software durch die Benutzer. Zur Kontrolle des Projektablaufs und zur Unterstützung der Qualitätssicherung ist daher ein effizientes Management von gemeldeten Fehlern und Erweiterungswünschen an das Produkt unbedingt erforderlich.

Die Verwaltung von derartigen Fehlern und Erweiterungs-Anforderungen erfolgt bei xS+S seit mehreren Jahren über ein Datenbank-gestütztes System mit einer Web-Benutzerschnittstelle. Das System bietet eine Reihe von Möglichkeiten zur Kategorisierung und Abfrage von Fehler-Reports und Erweiterungswünschen und erlaubt die Dokumentation der Aufgaben sowie die Zuordnung der Aktivitäten zu einzelnen Entwicklern. Sowohl Anwender als auch Entwickler erhalten eine entsprechende Bestätigung der Fehlermeldung oder des Erweiterungswunsches, sowie Rückmeldungen über den Status des Fehlers oder der Erweiterung ebenfalls per E-Mail.

Um den Anwendern im IMW Projekt die Möglichkeit zu geben, Fehler und Erweiterungswünsche schnell und einfach zu melden, wurde eine eigene Mailing-Liste als „Gateway“ zum internen Defect & Change Management System eingerichtet. Über diese Mailing-Liste wurden Fehler und Erweiterungswünsche von den Anwendern gemeldet und in weiterer Folge in das interne System aufgenommen. Der direkte Zugang zur Web-Oberfläche des Systems für den externen Anwender wurde in diesem Projekt nicht vorgesehen, wäre aber prinzipiell möglich.

3.6.4 Paket und Release Management

Jedes nicht-triviale Software-Projekt besteht aus einer großen Anzahl von unterschiedlichen Programmen, Scripts und Konfigurationsdateien, die zusammen eine logische Einheit oder *Software-Paket* bilden. Haben die Einzeldateien, aus denen ein Software-Paket besteht, im Laufe der Entwicklung einen ausreichenden Grad an Funktionalität und Stabilität erreicht, wird das Paket als installierbare Version zur *Release* freigegeben.

Ein Software-Paket, das zur Installation freigegeben ist, besitzt eine eindeutige Versionsnummer oder *Release-Tag*. Über diese Versionsnummer können alle Einzeldateien, aus denen das Paket besteht, bis hin zu den Quellcode-Dateien mit einem eindeutigen Namen und mit einem eindeutigen Versionsstand identifiziert werden.

Die Dateien eines Software-Pakets können in der Regel nicht einfach ohne Probleme zwischen Paketen mit unterschiedlichen Versionsnummern ausgetauscht werden. Zusätzlich bestehen in jedem größeren Softwarepaket Abhängigkeiten von anderen Software-Paketen, die berücksichtigt werden müssen. Es ist daher erforderlich, ein System zur Verwaltung der Dateien eines Pakets unter Berücksichtigung der Versionsnummern und aller Abhängigkeiten von anderen Software-Paketen zu etablieren.

xS+S benutzt für diese Aufgabe das unter dem Betriebssystem Linux weit verbreitete Werkzeug *RPM*, das mittels verschiedener, intern erstellter Software-Lösungen auch an das interne Software Configuration Management System angebunden ist. Dadurch ist xS+S jederzeit in der Lage, beliebige Software-Releases direkt aus dem Sourcecode-Repository zu erstellen und zur Installation vorzubereiten.

3.7 Entwicklungsumgebung

Für die Implementation der Messnetzzentrale im IMW Projekt war die Entwicklung einer großen Anzahl von Software-Komponenten in unterschiedlichen Programmiersprachen und für unterschiedliche Aufgabengebiete erforderlich. Neben den bereits zuvor erwähnten Werkzeugen wurde dafür eine Entwicklungsumgebung eingesetzt, die in wesentlichen Teilen dem Zielsystem entspricht.

Zu den Bestandteilen dieser Entwicklungsumgebung gehören:

- Betriebssystem: GNU/Linux®
- Web-Server: Apache
- Datenbank: Oracle®
- Programmiersprache: C
- Programmiersprache: PHP
- Programmiersprache: PL/SQL

Als Entwicklungsplattform wurden von den xS+S Entwicklern intern mehrere GNU/Linux Systeme benutzt, die entsprechend den Anforderungen mit den jeweils benötigten Software-Komponenten ausgerüstet waren.

Die Tests zur Qualitätssicherung der Web-Applikation wurden unter verschiedenen Betriebssystemen und mit verschiedenen Browser-Programmen durchgeführt. Die Integrationstests zur Anbindung der Messstationen wurden über ein VPN (*Virtual Private Network*) gemeinsam mit der Firma s::can durchgeführt.

4. Wesentliche Konzepte und Designentscheidungen

Aufgabe des Software-Architekten und -Designers ist die Spezifikation und Dokumentation von Konzepten, Modellen und Entwürfen, die in weiterer Folge zur Implementation des Software-Produkts geeignet sind. So wie in jedem größeren Softwareprojekt wurden auch für die IMW Messnetzzentrale dabei eine Reihe von grundlegenden Entscheidungen getroffen, die Aufbau und Funktion des fertigen Produkts wesentlich bestimmen.

4.1 Datenmodell

Viele Anforderungen an die Messnetzzentrale aus der ursprünglichen Spezifikation des Auftraggebers bezogen sich auf Funktionen und Möglichkeiten zur Verwaltung von umfangreichen Metainformationen zu den eigentlichen Messdaten, Steuerung des Messnetzbetriebs und Parametrierung der Messstationen. Zusätzlich sollten die Daten auch fremden, externen Programmen über eine standardisierte Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden können.

Aus der Erfahrung des xS+S Projektteams mit ähnlichen Projekten in der Vergangenheit konnte das Grundgerüst für das Datenmodell und die grundlegende Strukturierung der zu speichernden Informationen relativ rasch gewonnen werden. In Zuge der Ausarbeitung des Pflichtenheftes in der Elaboration Phase des Projekts wurden einige weitere wesentliche Entscheidungen zur Strukturierung der Messdaten und der Metainformationen getroffen. Die Attribute zur Beschreibung des Messnetzes und der Messdaten wurden während dieser Phase definiert und der Datenfluss für den Umgang mit dem System durch den Benutzer wurde festgelegt. Der endgültige Aufbau des Datenmodells wurde danach in mehreren Iterationen weiter verfeinert und schrittweise implementiert.

Um die in der IMW Messnetzzentrale benötigten Informationen in einem modernen Datenbank-Managementsystem optimal verwalten zu können, wurde ein relationales Datenmodell entworfen, das die effiziente Speicherung und den Zugriff auf die Daten erlaubt und zusätzlich allen Anforderungen an die logische Konsistenz, Sicherheit und Integrität des Datenbestandes genügt.

Dies wurde auch durch den Einsatz fortgeschrittener, standardisierter Funktionalitäten moderner relationaler Datenbanken wie verschiedene *Constraints* (*Unique*, *Check*, *Foreign Key*), *Synonyme*, *Trigger* und *Views* sowie den konsequenten Einsatz von *Stored Procedures* zur Kapselung aller schreibenden Zugriffe auf den Datenbestand erreicht.

Das Datenmodell der IMW Messnetzzentrale wurde auch unter Berücksichtigung der Anforderungen moderner Datenbank-Theorie entworfen, genügt neuesten Erkenntnissen über die Verwaltung temporaler Daten wie Messwert-Zeitreihen und entspricht weitestgehend dem aktuellen SQL Standard.

Obwohl das Datenmodell einige fortgeschrittene Funktionen des gewählten Datenbank-Managementsystems Oracle® benutzt, ist eine Portierung auf andere, ähnlich leistungsfähige DBMS prinzipiell möglich. So wurde bei xS+S eine teilweise Portierung des IMW Datenmodells auf das DBMS PostgreSQL vor einiger Zeit zu Testzwecken erfolgreich durchgeführt. Die endgültige und vollständige Implementation des Datenmodells in anderen Datenbank-Managementsystemen sowie die Integration der Erkenntnisse aus fast 2 Jahren Produktionsbetrieb in ein erweitertes Datenmodell bleibt jedoch zukünftigen Projekten vorbehalten.

4.2 Client/Server Datenbank

Als Datenbank-Managementsystem wurde Oracle® in der zu Beginn des Projekts aktuellen Version 8.1.7 gewählt. Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren vor allem folgende Kriterien:

- **Funktionalität**
Oracle ist ein äußerst leistungsfähiges Datenbank-Managementsystem mit allen Funktionen, die für die Entwicklung und den Betrieb professioneller und umfangreicher Datenbanken benötigt werden. Nach einer ersten Analyse der Anforderungen an die IMW Messnetzzentrale in der Inception Phase war offensichtlich, dass diese zum Zeitpunkt des Projekts nur von Oracle oder ähnlich leistungsfähigen Datenbank-Management Systemen erfüllt werden konnten.
- **Unterstützung durch Drittprogramme**
Oracle verfügt über Reihe von standardisierten Schnittstellen und wird von den meisten Datenbank-Clients von Fremdherstellern unterstützt. Dadurch bietet es die größte Sicherheit, den Datenbestand bestehenden und auch zukünftigen externen Programmen zur Verfügung stellen zu können.
- **Stabilität und Betriebssicherheit**
Oracle ist ein anerkanntes Datenbank-Management System, das alle Anforderungen an die Stabilität und Betriebssicherheit auch in großen und größten Datenbank-Anwendungen erfüllt. Diese Kriterien gelten aber nicht nur für die Datenbank selbst sondern auch für die Entwicklungs- und Administrationswerkzeuge, die im Projekt benutzt wurden.
- **Erfahrungen**
xS+S verfügt über langjährige Erfahrungen in der Administration sowie der Entwicklung von Applikationen mit dem Oracle Datenbanksystem. Die spezifischen Entwicklungsmethoden und -Werkzeuge waren zum Zeitpunkt des Projekts bereits gut bekannt und in einer Reihe von ähnlich gelagerten Projekten erprobt.
- **Lizenzierung**
Die am IMW Projekt beteiligten Universitäten verfügten bereits über entsprechende Lizenzen für den Einsatz von Oracle in der gewählten Form, so dass durch die Wahl dieser Software keine zusätzlichen Kosten für das ohnehin knappe Budget verursacht wurden.

Im Rückblick war die Entscheidung für Oracle in diesem Projekt sicher richtig. Mit keiner anderen Datenbank hätte dieses umfangreiche Software-Projekt unter den gegebenen Bedingungen in ähnlich kurzer Zeit erfolgreich realisiert werden können.

Allerdings stehen mittlerweile auch Datenbank-Systeme aus dem Open Source Umfeld mit zumindest teilweise vergleichbaren Eigenschaften zur Verfügung. Erste Tests bei xS+S in den vergangenen Monaten haben gezeigt, dass unter den zuvor genannten Kriterien die Auswahl an leistungsfähigen Datenbank-Systemen für derartige Projekte erheblich größer geworden ist und somit die Wahl des geeigneten Datenbank-Management Systems nunmehr eventuell auch anders ausfallen könnte.

4.3 Datenreplikation

Um allen am IMW Projekt beteiligten Universitätsinstituten direkten Zugriff auf die Messdaten unabhängig von der aktuellen Verfügbarkeit und Performance von Internet-Anbindungen zu geben, wurde der Datenspeicher der IMW Messnetzzentrale als Datenbank mit Möglichkeit zur Datenreplikation konzipiert. Ausgehend von der zentralen Datenbank am *IMW Zentralserver* werden die Daten in regelmäßigen Abständen auf entsprechende *Auswerteserver* an den jeweiligen Instituten repliziert. Dadurch steht der aktuelle Datenbestand mit einer kurzen Verzögerung direkt im Netzwerk der beteiligten Institute zur Verfügung.

Die Replikation erfolgt mittels Aufzeichnung aller Änderungen an der zentralen Datenbank in eigenen Replikations-Steuerdateien, Übertragung dieser Dateien in komprimierter Form über ein abgesichertes Virtual Private Network (VPN) an die Auswerteserver und nachfolgendem Einspielen der Änderungen in die lokale Datenbank. Spezielle Überwachungs- und Steuerungssoftware sorgt für den ordnungsgemäßen Ablauf der Replikation auch bei einem länger dauernden Ausfall der Netzwerk-Verbindung.

Auf diese Weise kann prinzipiell eine beliebige Anzahl von Replikations-Datenbanken versorgt werden.

Es bleibt anzumerken dass die Replikation zur Verringerung der Komplexität nur unidirektional konzipiert ist. Änderungen im Datenbestand dürfen ausschließlich am Zentralserver über die vorhandenen PL/SQL Zugriffsfunktionen vorgenommen werden. Jede Änderung, die am System vorbei auf einem Auswerteserver oder über einen direkten Zugriff auf die Tabellen der Datenbank vorgenommen werden, können vom Replikations-Modul nicht erfasst werden und gehen entweder bei der darauf folgenden Replikation verloren oder gefährden im schlimmsten Fall die Konsistenz des Datenbestands.

4.4 Client/Server Datenübertragung

Eine herausragende Eigenschaft der IMW Messnetzzentrale ist die konsequente Ausnutzung der Möglichkeiten des ISO 7-Schichten Modells durch Abstrahierung und in Folge von Client/Server Konzepten auch im Bereich der Kommunikation zwischen Messstation und Zentrale.

Höher angeordnete Schichten in der Datenkommunikation benutzen ausschließlich abstrahierte Eigenschaften der Messstation oder des Kommunikationsmediums, die erst in tiefer angeordneten Schichten durch Spezialisierung auf den jeweils gewählten Typ konkretisiert werden.

Funktionen zur Abholung von Mess- und Zustandsdaten benutzen daher beispielsweise die Funktion „Datenabruf“, die von der abstrahierten Messstation zur Verfügung gestellt wird und beauftragen ein eigenes Software-Modul mit der Ausführung dieser Funktion. Erst dieses Softwaremodul konkretisiert die Funktion „Datenabruf“ unter Berücksichtigung der übergebenen Eigenschaften der Messstation (z.B. Stationstyp) und führt die Funktion „Datenabruf“ unter Verwendung der für den konkreten Stationstyp erforderlichen Befehle aus.

Dadurch lassen sich die unterschiedlichen Schichten im Schichtenmodell einfach kapseln, wodurch die Software insgesamt übersichtlicher, wartbarer und einfacher erweiterbar wird.

Zusätzlich erfolgt die Kommunikation zwischen den beteiligten Software-Komponenten *Kommunikations-Client* und *Kommunikations-Server* über ein netzwerkfähiges TCP/IP Protokoll, wodurch es möglich wird, die einzelnen Software-Komponenten auf unterschiedliche,

miteinander vernetzte Rechner zu verteilen. Diese Eigenschaften erlauben die effiziente Ausnutzung vorhandener Kommunikations-Infrastruktur, die Konfiguration mehrerer Systeme zur Lastverteilung oder zur Erhöhung der Verfügbarkeit.

4.5 Berechnung und Aggregation

Die Messstationen im Messnetz senden die erfassten Messwerte in der Regel als atomare Messwerte. Ein atomarer Messwert ist das Ergebnis einer Einzelmessung mit einem bestimmten Zeitstempel, unabhängig von der Dauer der Messung. Da die Messungen auf verschiedenen Messstationen und teilweise sogar von einzelnen Messgeräten mit unterschiedlichen Zeitintervallen durchgeführt werden, speichert und verarbeitet die Messnetzzentrale die Daten atomarer Messwerte notwendigerweise in nicht-äquidistanten Zeitreihen.

Nicht-äquidistante Zeitreihen haben die Eigenschaft, dass von einem bestimmten Zeitstempel nicht algorithmisch auf den unmittelbar vorangegangenen oder nachfolgenden Zeitstempel geschlossen werden kann. Diese Eigenschaft hat in gewissen Fällen erhebliche negative Auswirkungen auf die Performance sowie auf die Möglichkeiten zur Darstellung und zum Vergleich der Messwerte, vor allem in tabellarischen Auswertungen.

Um diese Probleme zu umgehen, sowie zur Reduktion des teilweise sehr großen Datenvolumens zum Zwecke der einfachen Darstellung und Auswertung, verfügt die IMW Messnetzzentrale über die Möglichkeit der Aggregation der atomaren Messwerte zu arithmetischen Mittelwerten mit unterschiedlichen Mittelungsintervallen.

Die Algorithmen zur Berechnung der aggregierten Messwerte entsprechen dabei auch fortgeschrittenen Anforderungen an die Messwertverarbeitung und berücksichtigen zur Sicherstellung korrekter Ergebnisse unter anderem folgende Eigenschaften der Messwerte und Voreinstellungen im Messnetz:

- Gültigkeit des Messwerts
- Markierungen des Messwerts
- Aggregationsart
- Aggregationsintervall
- Geforderter Prozentsatz an gültigen Messwerten im Mittelungsintervall (Belegungsgrad)
- Geforderte Mindestanzahl an gültigen Messwerten im Mittelungsintervall

Aggregierte Messwerte verfügen über ähnliche Attribute wie atomare Messwerte (Messwert, Zeitstempel, Markierungen, Gültigkeit, Benutzerkennung), weisen zusätzlich jedoch spezifische Eigenschaften auf, die zur Beschreibung des Aggregationsalgorithmus dienen.

Zur Steigerung der Performance werden aggregierte Messwerte ebenfalls in der Datenbank dauerhaft abgelegt. Zur Vermeidung von Inkonsistenzen werden die aggregierten Messwerte jedoch bei einer Änderung des zugrunde liegenden Datenbestandes in regelmäßigen Abständen neu berechnet.

Die MW Messnetzzentrale besitzt prinzipiell die Möglichkeit, verschiedene Aggregationsalgorithmen anzuwenden. Derzeit ist jedoch nur der Algorithmus zur Bildung von arithmetischen Mittelwerten implementiert. Weitere Aggregationsalgorithmen können bei Bedarf hinzugefügt werden.

4.6 Plausibilisierung

Eine weitere Funktionalität der IMW Messnetzzentrale ist die Möglichkeit zur Überprüfung der von den Messstationen gelieferten Messwerte auf Plausibilität. Dabei wird geprüft, ob die Eigenschaften der Messwerte innerhalb bestimmter, vordefinierter Plausibilitätskriterien liegen. Werden diese Kriterien nicht eingehalten, wird der Messwert entsprechend markiert und gegebenenfalls für ungültig erklärt. Diese Maßnahme dient zur Qualitätssicherung des Datenbestandes.

Folgende Plausibilisierungsalgorithmen stehen derzeit in der Messnetzzentrale zur Verfügung:

- Unterschreitung eines Minimalwertes (Minimum)
- Überschreitung eines Maximalwertes (Maximum)
- Unterschreitung einer minimalen Änderung (Monotonie)
- Überschreitung einer maximalen Änderung (Sprung)

Die für die Bewertung der Plausibilitätskriterien herangezogenen Grenzen sind abhängig vom jeweiligen Parameter sowie vom Zeitpunkt definierbar. Es ist daher beispielsweise möglich, für das Sommer- und das Winter-Halbjahr unterschiedliche Plausibilitätskriterien zu definieren.

Original-Messwerte der Messstation werden vom Prüfalgorithmus prinzipiell nicht gelöscht oder verändert, sondern immer unverändert als Rohdaten in der Datenbank gespeichert. Jegliches Ergebnis der Plausibilisierung führt daher niemals zu einer Änderung des Original-Messwerts selbst, sondern immer zu zusätzlichen Informationen zur Beschreibung des Messwerts. Für die weitere Verarbeitung der Messergebnisse wie z.B. die Aggregation, Datenweitergabe oder Auswertung wird also der Original-Messwert unter Berücksichtigung der vom Plausibilisierungsmodul ermittelten Zusatzinformationen herangezogen.

4.7 Zustandsüberwachung und Alarmierung

Zusätzlich zur Plausibilisierung verfügt die IMW Messnetzzentrale über Funktionen zur Überwachung der Zustände im Messnetz und über Möglichkeiten, bei Auftreten bestimmter Zustände Alarmaktionen durchzuführen.

Die Messnetzzentrale definiert intern eine Reihe von Systemzuständen, die im Messnetz, in einer Messstation oder in Abhängigkeit eines Messwerts auftreten können. Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Plausibilisierung stellen dabei eine Untermenge der möglichen Zustände dar.

Die Konfigurationsmöglichkeiten der Zustandsüberwachung und Alarmierung sind äußerst flexibel. Systemzustände können ignoriert werden, zu einer Markierung oder zur Ungültigkeit des Messwerts führen, eine Meldung auslösen oder in einer Überwachung berücksichtigt werden.

Der Messnetz-Administrator ist in der Lage, eine beliebige Anzahl von Überwachungen zu konfigurieren. Jede Überwachung definiert einen Systemzustand und optional eine Verknüpfung mit einem Bezugsobjekt im Messnetz. Sind die so konfigurierten Überwachungsbedingungen erfüllt wird automatisch die definierte Alarmaktion ausgelöst.

Alarmaktionen sind ebenfalls konfigurierbar und in Form von Funktionen realisiert, die eine bestimmte Aktion durchführen. Derzeit existieren Funktionen zum Versenden einer E-Mail oder einer SMS an die Personen, die in der Bereitschaftsdienstzuordnung zum jeweiligen Zeitpunkt eingetragen ist. Weitere Alarmaktionen wie die Ausgabe von Informationen auf einen Alarmedrucker, Ansteuerung eines akustischen Signals oder die Durchführung beliebiger Steueraktionen im Messnetz sind prinzipiell möglich, derzeit jedoch nicht implementiert.

4.8 Benutzer- und Rechteverwaltung

Die IMW Messnetzzentrale ist ein Mehrbenutzersystem und verfügt über Funktionen zur Authentifizierung, Autorisierung und Accounting der Benutzer.

Ein Benutzer, der mit dem System arbeiten möchte, benötigt einen Account mit einem entsprechenden Passwort. Jedem Account ist eine Rolle zugewiesen, über die der Benutzer gewisse Rechte (Privilegien) im System erhält.

Die IMW Messnetzzentrale unterscheidet eine Reihe von Operationen, für die das Recht zur Durchführung explizit über ein entsprechendes Privileg einer Rolle zugeteilt werden muss. Einige Privilegien haben dabei Gültigkeit für das gesamte Messnetz, andere Privilegien gelten nur für ein bestimmtes Untersuchungsgebiet. Der Messnetz-Administrator hat so die Möglichkeit, die Zugriffsrechte der einzelnen Benutzer auf Funktionen und Daten der Messnetzzentrale sehr detailliert zu vergeben.

Für den Zugang zu Messdaten ohne vorhergehender expliziter Anmeldung existiert die Möglichkeit, einen anonymen Benutzer zu definieren. Alle Auswertungen, die einen derartigen Zugang gestatten, benutzen für die Autorisierung und das Accounting der Zugriffe automatisch diesen „gast“ Benutzer. Auch hier gilt das Prinzip der rollenbasierten Zugriffsrechte, so dass der Messnetzadministrator über die dem Benutzer „gast“ zugeordneten Privilegien entscheiden kann, welche Daten öffentlich und ohne vorherige Anmeldung zugänglich gemacht werden sollen.

Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, bestimmte Zeitreihen von der Veröffentlichung gänzlich auszuschließen.

4.9 Web-basiertes User-Interface

Ein besonderes Merkmal der Messnetzzentrale ist die web-basierte Benutzerschnittstelle, über die der Anwender mittels Web-Browser alle wesentlichen Tätigkeiten im Messnetzbetrieb durchführen kann. Dadurch wird die Bedienung der Messnetzzentrale für den Benutzer unabhängig vom Ort und Betriebssystem des Rechners, auf dem der Web-Browser läuft. Einzige Voraussetzung ist eine entsprechende Netzwerk- oder Internet-Anbindung.

Durch die Konzentration auf das Wesentliche, sowie Benutzung moderner Techniken wie Cascading Style Sheets, ist die Datenmenge der pro Bildschirmseite zu übertragenden HTML Information gering. Es ist daher auch möglich, direkt am Ort der Messstation oder sogar im Feld mittels Notebook und mobiler Internet-Anbindung (z.B. GPRS Modem) auf die Messwerte in der Datenbank der Messnetzzentrale zuzugreifen, Konfigurationsänderungen durchzuführen oder die Messstation zu steuern.

Zusätzlich bietet sich so die Möglichkeit, interessierten Personen weltweit über das Internet Zugriff auf die Messwerte zu geben, sei es über eine spezifische, personenbezogene Auto-

risierung mit verschlüsselter Datenübertragung oder über einen anonymen Zugang auf speziell freigegebene Daten.

Aus technischen Gründen unterscheiden sich Applikationen mit einem web-basierten Benutzer-Interface in der Regel erheblich von klassischen, lokal ablaufenden Programmen. Um auch bei Verwendung der web-basierten Benutzerschnittstelle der IMW Messnetz-zentrale das von lokal ablaufenden Programmen gewohnte „Look & Feel“ zumindest teilweise zur Verfügung zu stellen, wurde für das IMW Projekt ein eigenes, objekt-orientiertes Framework und eine entsprechende Klassenbibliothek entwickelt, die die Verwendung von Menüs, Auswahllisten und Eingabedialogen innerhalb der Web-Applikation erlaubt. Das Look & Feel der Benutzeroberfläche der IMW Messnetz-zentrale entspricht daher mit ihren Menüs, Aktions-Buttons und Popup-Dialogen eher dem eines klassischen GUI und unterscheidet sich von dem eines typischen „Web-Portals“.

Die folgenden Bilder zeigen einen typischen Ablauf in der Bedienung der IMW Messnetz-zentrale und demonstrieren die Möglichkeiten der realisierten Benutzeroberfläche. Im konkreten Beispiel wird der dargestellte Zeitbereich einer Liniengrafik unter Benutzung des dafür vorgesehenen Eingabe-Dialogs geändert.

Zuerst befindet sich im Fenster des Web-Browsers die Darstellung einer beliebigen Auswertung in Form einer Liniengrafik mit einem bestimmten, vom Anwender zuvor ausgewählten Zeitbereich und anderer Einstellungen.

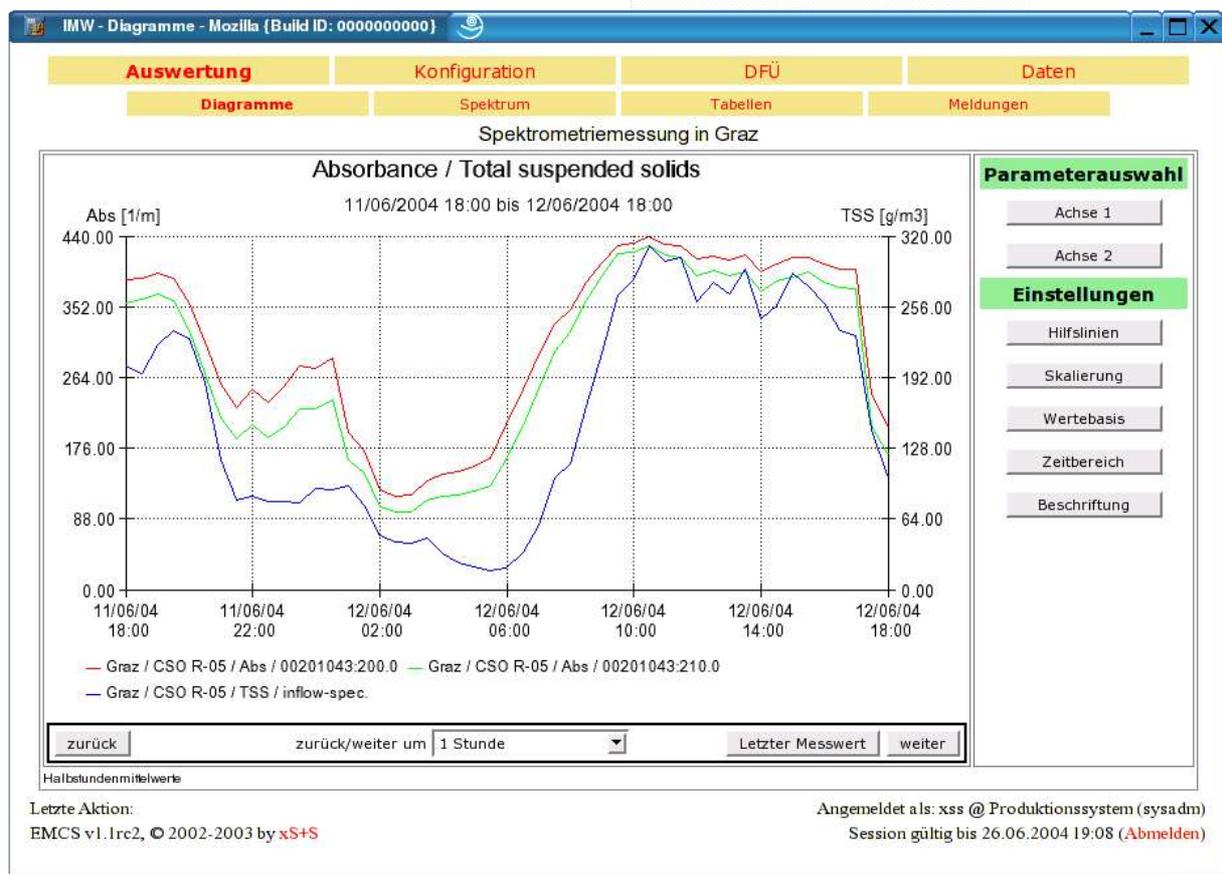


Abbildung 1 Liniengrafik

Der Benutzer öffnet nun den Eingabedialog zur Änderung des dargestellten Zeitbereichs durch Klick auf den Button „Zeitbereich“ am rechten Rand der Applikation. Sofort erscheint der entsprechende Eingabe-Dialog in Form eines zusätzlichen Browser-Fensters über dem Original-Fenster mit der eigentlichen Auswertung. Das Original-Fenster bleibt dabei jedoch nach wie vor im Hintergrund sichtbar:

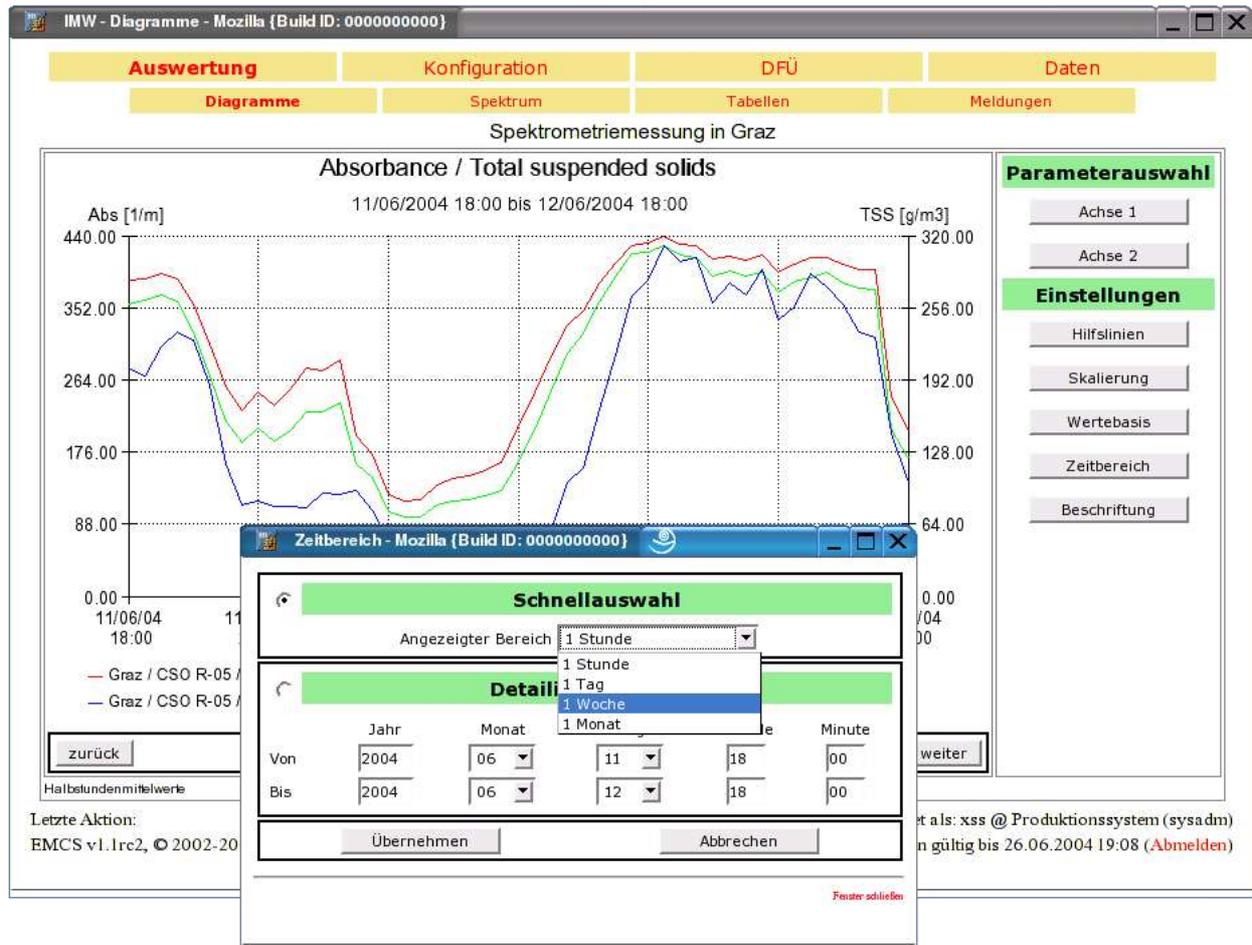


Abbildung 2 Liniengrafik mit geöffnetem Auswahldialog

Das Fenster des Auswahl-Dialogs kann wie gewohnt am Bildschirm verschoben, vergrößert oder verkleinert werden. Die Möglichkeiten zur Eingabe werden durch die Funktionen des jeweiligen Auswahl-Dialogs bestimmt.

Nach Durchführung der Eingabe und Bestätigung der Auswahl durch Klick auf den Button „Übernehmen“ verschwindet der Eingabedialog und die Auswertung wird mit dem entsprechend modifizierten Zeitbereich im Original-Fenster des Web-Browsers neu ausgegeben:

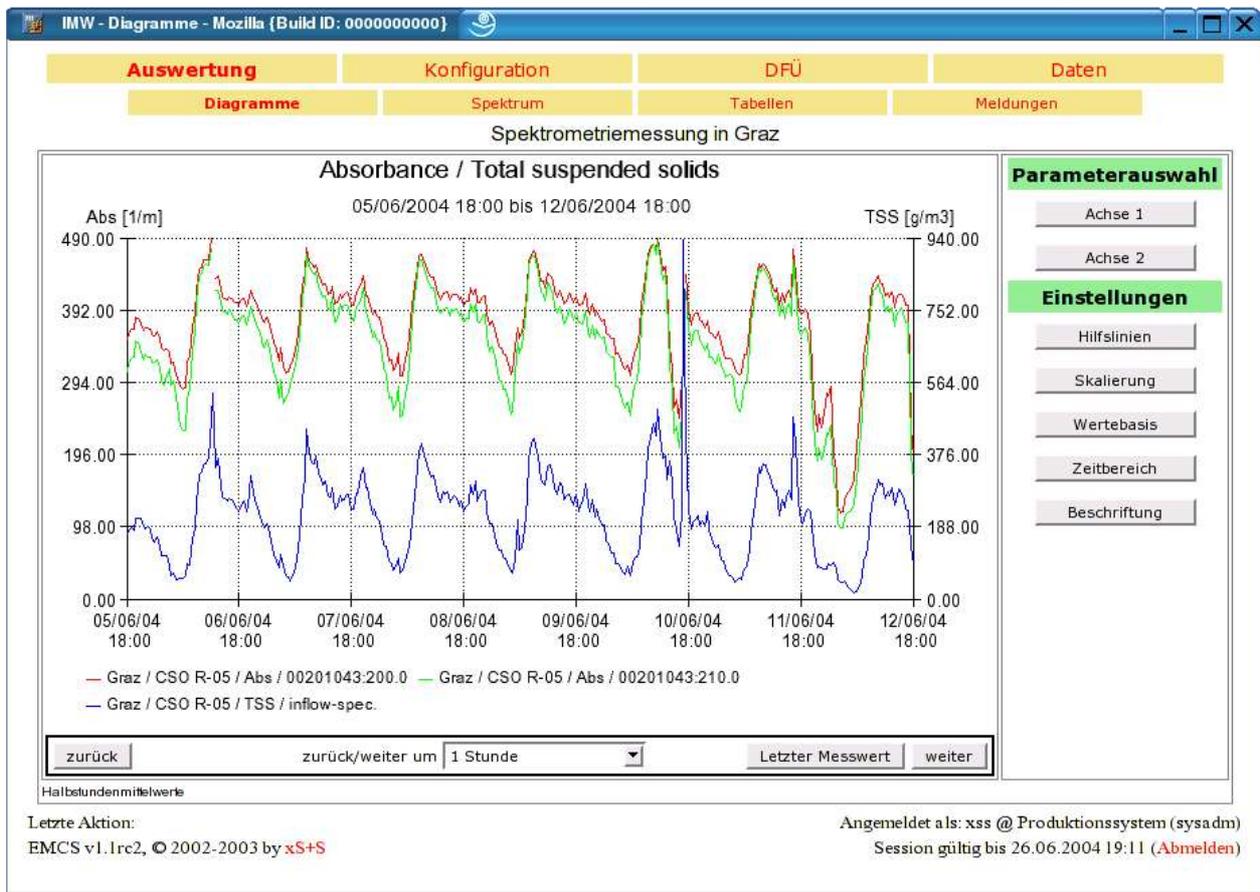


Abbildung 3 Modifizierte Liniengrafik

Die Implementation der gesamten Web-Applikation erfolgte in der Programmiersprache PHP unter dem Web-Server Apache. PHP ist eine Scriptsprache, die von einem im Web-Server integrierten Interpreter abgearbeitet wird. Die Sprache unterstützt in der benutzten Version 4 eine Reihe von objekt-orientierten Konzepten und bietet eine umfangreiche und mächtige Funktionsbibliothek.

Die Entscheidung für diese Entwicklungsmethode und gegen die ebenfalls gebräuchliche Alternative einer Implementation in Java unter einem J2EE Application Server erfolgte nach gründlicher Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile.

Für eine Implementation der Web-Applikation in der Programmiersprache PHP sprachen vor allem folgende Gründe:

- Geringerer Ressourcenbedarf
Die Erfahrung zeigt, dass ein Java Web-Application Server inklusive Applikation erheblich mehr Anforderungen an die Hardwareplattform als eine PHP Applikation mit vergleichbarem Funktionsumfang stellt. Das begrenzte Budget des IMW Projekts hätte

die erforderliche Ausführung aller drei gewünschten Server in der benötigten Leistungsfähigkeit nicht erlaubt. Die Implementation in PHP erlaubte eine kostengünstigere Ausstattung der Hardware-Plattform.

- Umfangreiche Funktionsbibliothek
Die Sprache PHP stellt eine sehr umfangreiche Funktionsbibliothek zur Verfügung. Der Softwareentwickler findet darin Lösungsmöglichkeiten für fast alle Anforderungen der Programmierung.
- Verfügbarkeit von Software-Komponenten
Aus vorangegangenen Projekten wie LIFE99 standen bereits einige PHP Software-Komponenten zur Verfügung, die auch für das IMW Projekt eingesetzt werden konnten. Entsprechendes Know How war aus diesen Projekten bei xS+S ebenfalls vorhanden.

Als Nachteil der Programmiersprache PHP können folgende Punkte genannt werden:

- Kein Framework
PHP stellt kein Framework für Web-Applikationen zur Verfügung, wie es etwa aus der J2EE Spezifikation bekannt ist. Entsprechende grundlegende Abläufe und Programm-Schnittstellen müssen daher vom Anwendungsentwickler selbst implementiert werden.
- Unvollständige Implementation von objekt-orientierten Konzepten
PHP kennt in der für das IMW Projekt benutzten Version 4 nur einen Teil der von anderen objekt-orientierten Programmiersprachen gewohnten Konzepte. Dadurch stehen dem Entwickler nicht alle eventuell gewünschten Sprachmittel zur Verfügung.
- Erhöhtes Risiko von unübersichtlichem Code
Mit PHP lassen sich sehr schnell Programme mit einem umfangreichen Funktionsumfang erstellen („Rapid Prototyping“). Achtet man dabei aber nicht ausreichend auf ein sorgfältiges Software-Design, wird der entstandene Quellcode jedoch schnell unübersichtlich und schwer wartbar.

Die Entscheidung für die Programmiersprache PHP in der Version 4 zur Implementation der Web-Applikation kann im Rückblick und nach erfolgreichem Abschluss des Projekts als richtig bewertet werden. Mit der Verfügbarkeit der Nachfolgeversion PHP5, mit der kurzfristig zu rechnen ist, bietet sich auch ein entsprechender Pfad für weitere und umfangreichere Projekte, die in der Programmiersprache PHP implementiert werden.

Andererseits steht mittlerweile leistungsfähige und trotzdem kostengünstige Hardware zur Verfügung, für die das Argument des hohen Ressourcenbedarfs der J2EE Umgebung nicht mehr ausschlaggebend ist.

5. Architektur des Systems

Die IMW Messnetzzentrale ist ein umfangreiches und komplexes Software-Produkt, das aus vielen verschiedenen Einzelkomponenten besteht. Die grundlegenden Anforderungen an das System wurden dabei vom Auftraggeber vorgegeben und in der Elaboration Phase des Projekts weiter ausgearbeitet und detailliert spezifiziert. Die dabei getroffenen Entscheidungen bestimmten die Architektur der IMW Messnetzzentrale, die in diesem Kapitel kurz vorgestellt wird.

5.1 Logische Struktur des Messnetzes

Das gesamte Online-Messnetz besteht aus einer logischen Zentrale (auch wenn diese aus mehreren Teilkomponenten aufgebaut ist) und mehreren, voneinander unabhängigen Messstationen. Messnetzzentrale und Messstationen kommunizieren über ein definiertes Datenprotokoll und entsprechende Datenübertragungs-Infrastruktur miteinander.

Messstationen sind im Wesentlichen eigenständig arbeitende Systeme, die für die Ansteuerung der Messgeräte und Sensoren, sowie für die Erfassung und Zwischenspeicherung der Messdaten verantwortlich sind.

Messstationen und Messnetzzentrale pflegen einen gemeinsamen Satz an Metadaten, über den eine einheitliche Verwaltung des Messnetzes und Verarbeitung der Messdaten sichergestellt wird.

Die Kommunikation mit Aktoren außerhalb des Messnetzes, wie die verschiedenen Anwender oder externe Programme, erfolgt ausschließlich über Schnittstellen, die von der Messnetzzentrale und teilweise der Datenbank selbst zur Verfügung gestellt werden.

Das folgende Bild zeigt den logischen Aufbau des Online-Messnetzes in vereinfachter Form:

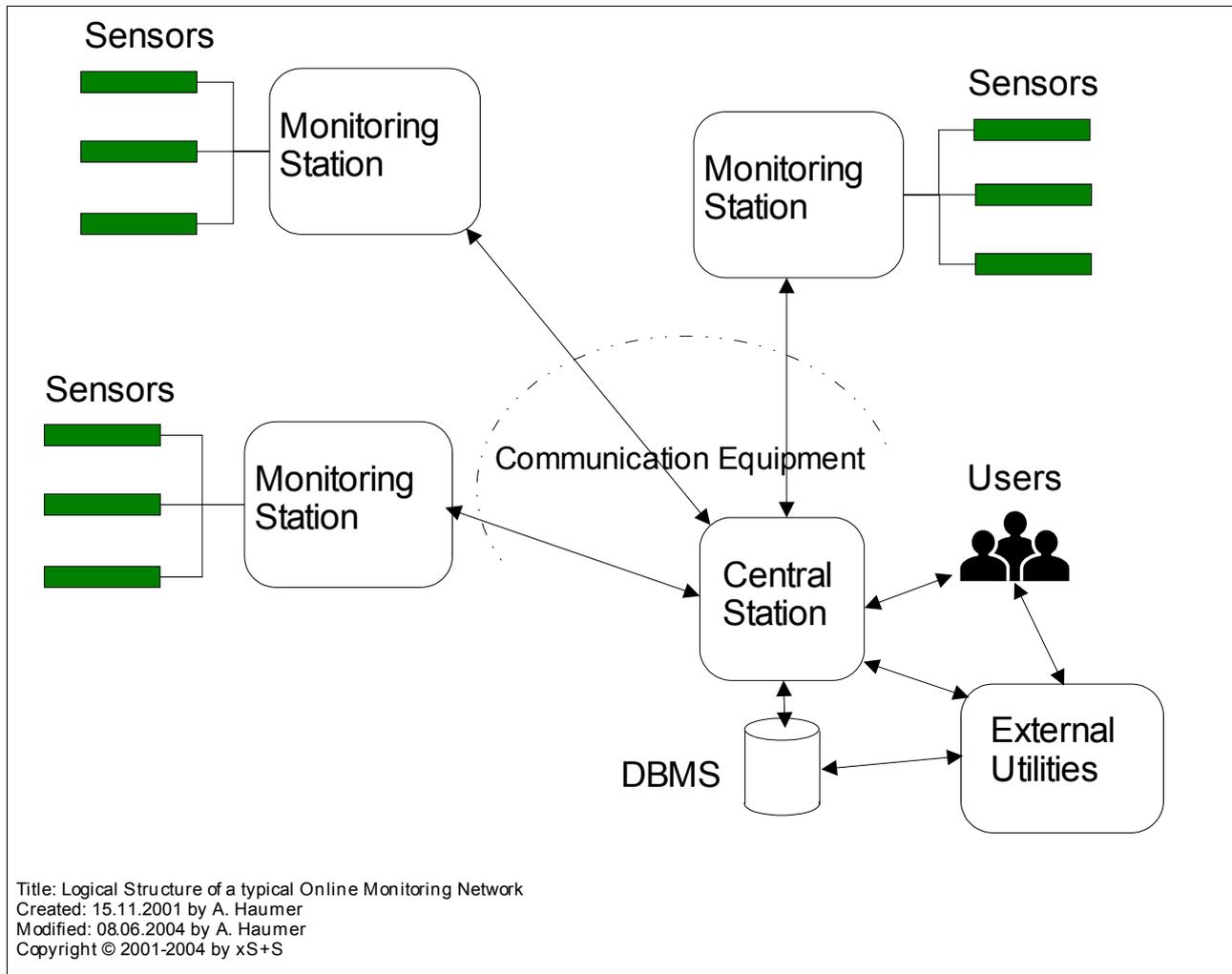


Abbildung 4 Logische Struktur eines Online-Messnetzes

5.2 Logische Struktur der Messnetzzentrale

Die von xS+S festgelegte Architektur für die IMW Messnetzzentrale sieht folgende Kernkomponenten vor:

- Im Kern eine relationale Datenbank zur Speicherung aller Daten im gewählten Datenmodell
- Client/Server Applikationen für Datenbank, Telemetrie, Replikation, Überwachung und Alarmierung, Aggregation sowie das Benutzer-Interface mit entsprechenden Schnittstellen und Protokollen.
- Web-basiertes Benutzerinterface für anonyme und angemeldete Benutzer
- Definierte Schnittstellen für externe Datenlieferanten und -verbraucher wie Messstationen, Alarmierungsfunktionen und Drittprogramme

Die logische Struktur der Messnetzzentrale kann daraus abgeleitet und wie folgt grafisch dargestellt werden:

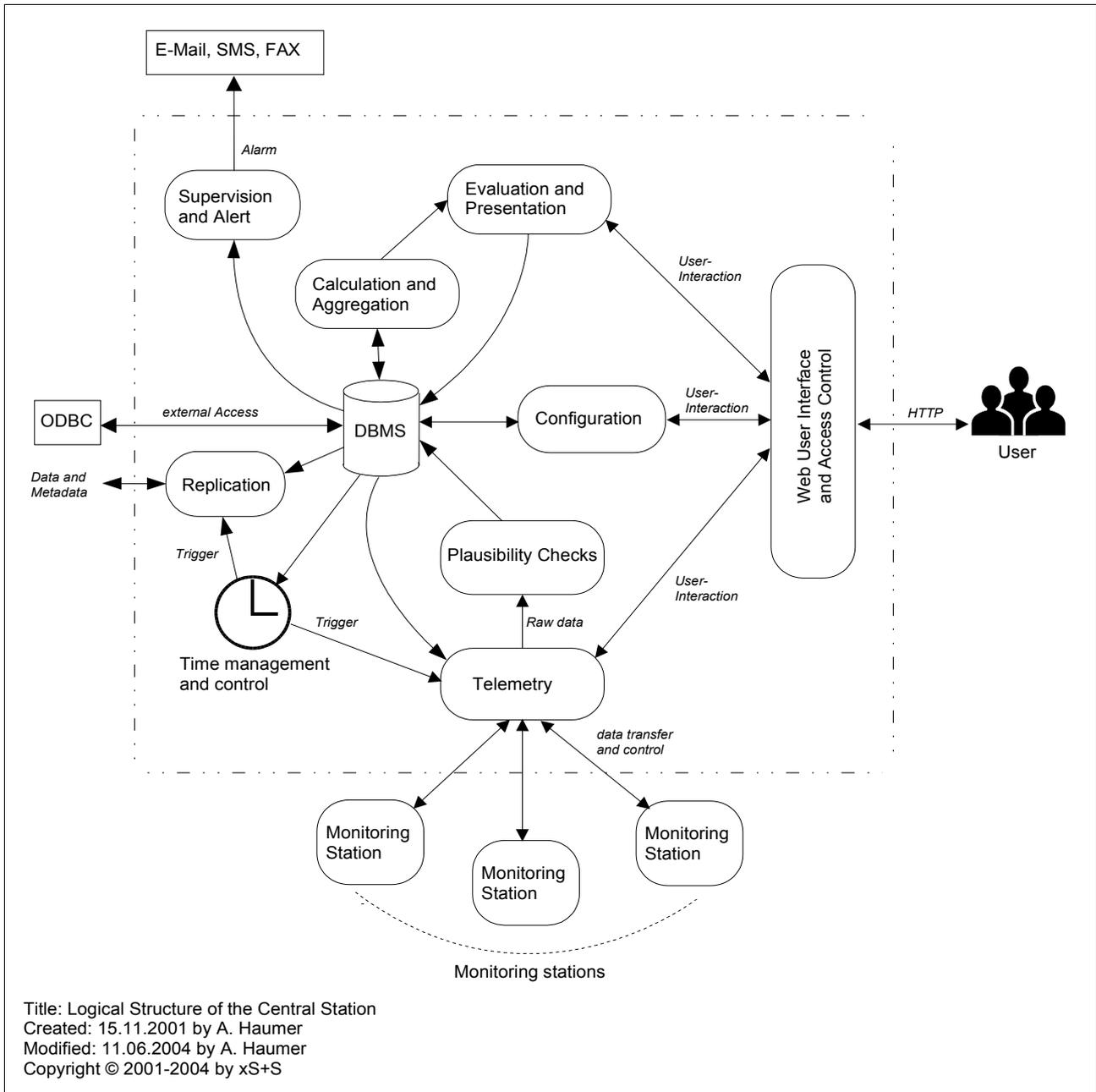


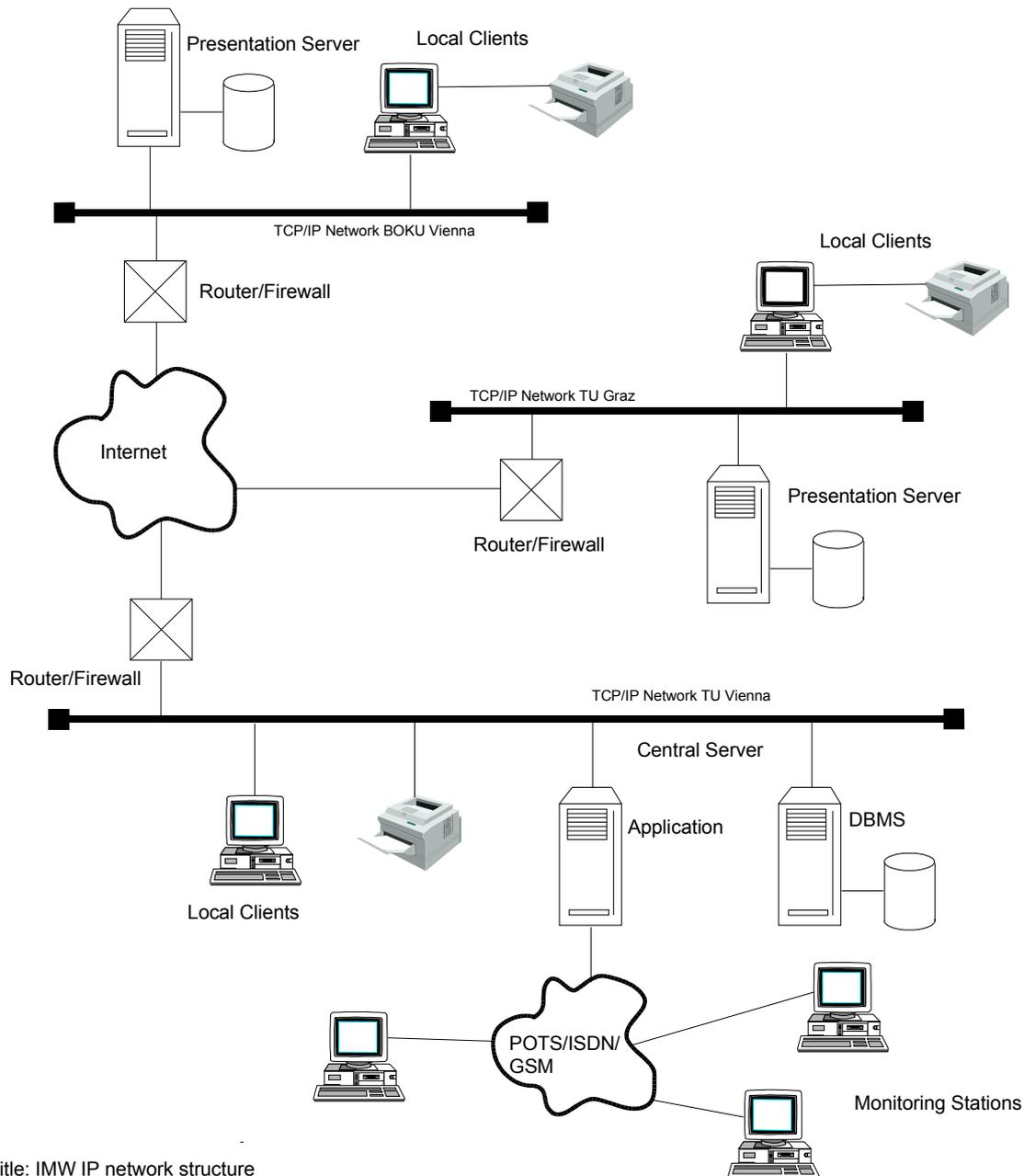
Abbildung 5 Logische Struktur der IMW Messnetzzentrale

5.3 TCP/IP Netzwerkstruktur

Die Messnetzzentrale selbst besteht aus mehreren Systemen, die über ein Virtual Private Network (VPN) mittels IPsec Technologie über das Internet miteinander verbunden sind. Über dieses VPN erfolgt der Datenaustausch zwischen den verschiedenen Client/Server Komponenten des Systems wie z.B. die Replikation der Datenbank oder gegebenenfalls die Kommunikation zwischen den Komponenten zur Datenübertragung im Messnetz aus Sicherheitsgründen in verschlüsselter Form.

Der Zugriff auf die Systeme durch Anwender und Drittprogramme erfolgt über die bereitgestellten Schnittstellen ebenfalls über das lokale Netzwerk oder über das Internet.

Das so aufgebaute Netzwerk kann vereinfacht wie folgt grafisch dargestellt werden:



Title: IMW IP network structure
Created: 15.11.2001 by A. Haumer
Modified: 11.06.2004 by A. Haumer
Copyright © 2001-2004 by xS+S

Abbildung 6 IMW TCP/IP Netzwerkstruktur

5.4 Hardware

Die Hardware-Infrastruktur der IMW Messnetzzentrale wurde in der ersten Ausbaustufe in Form von weitgehend gleich aufgebauten, kostengünstigen Servern mit Intel® Pentium® 4 Prozessor sowohl für den Zentralserver als auch die beiden Auswerteserver realisiert und von xS+S geliefert. Damit wurde der Messnetzbetrieb im September 2002 aufgenommen.

Die restliche Hardware-Infrastruktur wie Netzwerk-Komponenten, Backup-Bandlaufwerk, Datenmodem und USV wurde aus Kostengründen aus vorhandenen Beständen vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Nachdem die Erfahrungen der ersten Betriebsmonate gezeigt hatten, dass das System problemlos auch kürzere Messintervalle und damit wesentlich höhere Datenraten als ursprünglich vorgesehen „verkräften“ konnte, die Betriebsdauer des Messnetzes entgegen dem ursprünglichen Plan von einem Jahr auf zumindest zwei Jahre verlängert und ein Ausbau des Messnetzes um weitere Messstationen eingeplant wurde, wurde die IMW Server Hardware schrittweise ausgebaut und verfügt nun in der eigentlichen Messnetzzentrale über den ursprünglichen Server, der weiter als Applikationsserver eingesetzt wird und zusätzlich einen weiteren kostengünstigen Server auf Intel x86 Architektur mit zwei Xeon® Prozessoren und 6 GB RAM als Datenbankserver. Der Speicher der beiden Auswerteserver wurde ebenfalls erweitert, um mit den größeren Datenmengen besser umgehen zu können.

Mit der Verfügbarkeit kostengünstiger 64 Bit Prozessoren wie dem AMD Opteron® Prozessor, entsprechender Server-Systeme und der vollen Unterstützung dieser Hardware durch das Betriebssystem Linux, wäre aus heutiger Sicht die Verwendung derartiger 64 Bit Systeme mit einem entsprechenden Speicherausbau vor allem für den Datenbankserver eine sinnvolle Alternative, die zum Zeitpunkt des Projektstarts leider noch nicht zur Verfügung gestanden ist.

Durch die Konzeption der Benutzerschnittstelle als Web-Applikation ist die Bedienung der Messnetzzentrale von jedem Arbeitsplatzrechner mit einem geeigneten Web-Browser möglich. Besondere Hardware-Anforderungen werden an die Arbeitsplatzrechner daher nicht gestellt. Für eine bequeme Benutzung des Systems sollte die Grafikauflösung des Client-Systems jedoch mindestens 1024x768 Punkte betragen.

5.5 Software

Die Software der IMW Messnetzzentrale kann in mehrere Kategorien eingeteilt werden:

5.5.1 Betriebssystem

Als Betriebssystem kommt auf allen Servern GNU/Linux in Form der xS+S Basis Linux Distribution zum Einsatz. Neben den Basisfunktionen werden vor allem folgende Bestandteile des Betriebssystems besonders benutzt:

- Firewall
- IPsec VPN
- Apache Webserver
- PHP Interpreter

Alle Bestandteile des Betriebssystems stehen als Open Source Software auch im Quellcode zur Verfügung.

5.5.2 Datenbank Managementsystem

Als Datenbank-Managementsystem kommt wie bereits erwähnt Oracle 8.1.7 für Linux zum Einsatz.

5.5.3 Anwendungssoftware

Die Anwendungssoftware für die IMW Messnetzzentrale wurde im Rahmen des Projekts neu entwickelt.

Client/Server Komponenten für Datenfernübertragung, Aggregation, Überwachung und Datenreplikation wurden in der Programmiersprache C implementiert.

Eine Programmierschnittstelle mit Funktionen für den schreibenden Zugriff auf den Datenbestand sowie verschiedenen speziellen Datenzugriffsfunktionen wurde in der Programmiersprache PL/SQL implementiert, die direkt im Datenbank-Server installiert und von diesem ausgeführt wird.

Die Software für die web-basierte Benutzer-Oberfläche wurde in der Programmiersprache PHP implementiert. Diese Programme werden von einem Interpreter verarbeitet, der als Erweiterungsmodul des Webserver Apache installiert ist.

5.6 Kommunikationsinfrastruktur

Die im IMW Messnetz zum Einsatz kommende Kommunikationsinfrastruktur ist auf ISO Layer 1 und 2 sehr heterogen. Im Laufe des Messnetzbetriebs kamen und kommen nach wie vor hier sehr unterschiedliche Übertragungsmethoden zum Einsatz:

- Analogmodem
- GSM Modem
- PPTP VPN über das Internet
- Lokales Netzwerk (Ethernet)

Auf ISO Layer 3 und 4 wird im gesamten Messnetz dagegen ausschließlich TCP/IP eingesetzt und auch die Protokolle auf den darüber liegenden Schichten (Anwendungsprotokolle) sind einheitlich, da die Typen aller Stationen im Messnetz gleich sind und die gleichen Protokollversionen benutzt werden.

6. Besondere technische Herausforderungen und Lösungen

Einige Anforderungen an die IMW Messnetzzentrale stellten an die Entwickler besondere Herausforderungen. Wie man am fertigen Produkt jedoch erkennen kann, wurden alle Herausforderungen erfolgreich gelöst. Einige der gefundenen Lösungen verdienen dabei besondere Beachtung.

6.1 Datenreplikation

Um den Zugriff auf Messdaten vor allem für die beteiligten Universitätsinstitute von der Verfügbarkeit der Netzwerkverbindung zum IMW Zentralserver unabhängig zu machen, wurde das Konzept der Datenreplikation auf die Auswerteserver entworfen. Auf diese Art verfügen die Benutzer an den einzelnen Instituten in lokalen Datenbanken jederzeit über eine Kopie des Datenbestands am IMW Zentralserver.

Für die Replikation der Daten werden alle Änderungen am Datenbestand des IMW Zentralservers über eine eigene, in der Programmiersprache PL/SQL implementierten Zugriffsschicht protokolliert. In regelmäßigen Abständen werden die so aufgezeichneten Änderungen an die Auswerteserver übertragen und in der lokalen Datenbank des jeweiligen Servers nachgezogen.

Auf die weiteren Konzepte und Details der Datenreplikation wurde bereits in einem vorangegangenen Kapitel näher eingegangen.

6.2 Spektrometrie

Die Einbindung moderner Spektrometrie-Messverfahren in das Messnetz war eines der Ziele im IMW Projekt. Spektrometrie-Messungen erfassen die Größe eines physikalischen Parameters nicht direkt, sondern indirekt über die Messung der Absorption von Licht mit einem bestimmten Frequenzbereich im zu untersuchenden Medium und nachfolgender Berechnung aus den, dem physikalischen Parameter jeweils zuordenbaren Wellenlängen. Aus einer einzelnen Spektrometrie-Messung und dem entsprechenden messtechnischen Know How lassen sich so die Größen einer Reihe von physikalischen Parametern bestimmen.

Unmittelbares Ergebnis einer Spektrometrie-Einzelmessung ist daher nicht ein einzelner Messwert, sondern ein Satz von Messwerten mit teilweise gleichen (z.B. Zeitstempel) und teilweise unterschiedlichen (z.B. Wellenlänge) Attributen.

Im IMW Projekt sollten jedoch nicht nur abgeleitete Messergebnisse, sondern eben auch die Originaldaten der Spektrometrie-Messungen in der Messnetzzentrale gespeichert werden, um so die Möglichkeit für erweiterte Auswertungen zu schaffen. Die nahtlose Integration von Spektrometrie-Messungen und die Implementation der dazu erforderlichen Funktionen in der Messnetzzentrale war daher ein besonders wichtiger Punkt.

6.2.1 Datenmodell

Spektrometrie-Messwerte werden im Datenmodell der IMW Messnetzzentrale wie herkömmliche Messwerte behandelt. Sie besitzen alle Attribute eines herkömmlichen Messwerts und werden über die gleichen Schlüssel identifiziert. Damit ist es möglich, jeden einzelnen Messwert einer Spektrometrie-Messung in der Datenbank gezielt für Lese- und Schreiboperationen zu spezifizieren.

Die Zuordnung der Einzel-Messwerte einer Spektrometrie-Messung zu einem gemeinsamen Datensatz erfolgt im IMW Datenmodell über die Kennzeichnung des Parameters als *Spekτρο-Parameter*. Damit wird verdeutlicht, dass alle Messwerte dieses Parameters mit dem gleichen Zeitstempel zu einer einzelnen Spektrometrie-Messung gehören. Die Zuordnung der Messwerte zu unterschiedlichen Wellenlängen erfolgt über das Attribut *Parameter-Spezifikation*.

6.2.2 Datenrate und Datenmenge

Bei einer Spektrometrie-Messung entstehen je nach Konfiguration des Messgeräts pro Messung bis zu 200 und mehr Einzelmesswerte. Dies ist ein Vielfaches der sonst auf einer typischen Online-Messstation mit herkömmlichen Methoden und Messgeräten erfassten Parameter. Zusätzlich ist die Verarbeitungsgeschwindigkeit eines Spektrometrie-Messgeräts relativ hoch, wodurch Messintervalle von einer Minute möglich sind und im IMW Projekt je nach Messaufgabe in Sondersituationen auch eingesetzt werden.

Bei Ausnutzung der jeweiligen Maximaleinstellungen ist eine einzelne Messstation mit einem Spektrometriemessgerät also in der Lage, etwa 250 Messwerte pro Minute zu liefern. Entsprechend höhere Datenraten liefern Messstationen mit mehreren Spektrometriemessgeräten. Zusätzlich werden auf der Messstation noch Statusinformationen und Meldungen produziert, die ebenfalls als Information übertragen und gespeichert werden müssen.

6.2.3 Datenübertragung

Um die relativ großen Datenmengen von den Messstationen in die Messnetzzentrale effizient übertragen zu können, wurde beim Design des Übertragungsprotokolls speziell auf die Messdaten der Spektrometriemessung Rücksicht genommen. Diese Daten werden bei der Übertragung anders als die Ergebnisse herkömmlicher Messungen übertragen, da einige Attribute eines Einzelmesswerts für den gesamten Datensatz eines Spektrums gelten.

Um die Implementation des Übertragungsprotokolls trotzdem einfach zu halten und die Anforderungen an die Rechenleistung vor allem der Messstation zu reduzieren, wurde auf die Implementation eines speziellen Komprimierverfahrens in der ersten Version des Übertragungsprotokolls verzichtet. Die Implementation entsprechender Komprimierverfahren ist jedoch prinzipiell in Nachfolgeversionen des Übertragungsprotokolls möglich.

6.2.4 Auswertungen

Die Auswertung der Ergebnisse einer Spektrometriemessung erfolgt auf die gleiche Art wie für herkömmliche Messwerte in Form von Zeitreihen-Liniendiagrammen. Die Funktionalität der grafischen Auswertungen unterscheiden sich hier nicht von denen für herkömmliche Messwerte. Zusätzlich und als Ergänzung gibt es die Möglichkeit, über die vorhandene Datenbank-Schnittstelle mit externen Drittprogrammen auf die gespeicherten Messdaten zuzugreifen.

Als Erweiterung zur Software-Version 1.0 wurden von xS+S in den letzten Monaten zusätzliche grafische und tabellarische Auswertungen implementiert, die sich besonders auch zur Präsentation der Ergebnisse der Spektrometriemessung eignen.

Das folgende Bild zeigt die grafische Spektralauswertung der Ergebnisse einer einzelnen Spektrometriemessung. Dabei wird das Spektrum als Funktion der Absorption für die jeweiligen Wellenlängen dargestellt.



Abbildung 7 Spektralauswertung

Die tabellarische Darstellung im folgenden Bild zeigt die Ergebnisse eines Teils dieser Messung als Zahlenwerte im zeitlichen Zusammenhang.

Spektrometriemessung in Graz

Ort: Graz / CSO R-05

Parameter

	Absorbance (0020 1043:200.0)	Absorbance (0020 1043:202.5)	Absorbance (0020 1043:205.0)	Absorbance (0020 1043:207.5)	Absorbance (0020 1043:210.0)	Absorbance (0020 1043:212.5)
12.06.2004 09:21	426.700	429.700	427.700	422.700	413.500	403.100
12.06.2004 09:24	431.800	439.400	437.800	429.700	420.900	414.300
12.06.2004 09:27	434.000	431.900	430.300	426.000	416.600	404.400
12.06.2004 09:30	424.800	425.900	422.900	417.000	408.500	396.500
12.06.2004 09:33	427.200	427.900	429.200	426.400	417.000	406.500
12.06.2004 09:36	434.400	438.100	436.600	430.700	422.000	414.000
12.06.2004 09:39	428.500	429.000	427.200	423.000	413.900	404.200
12.06.2004 09:42	420.900	422.600	421.000	416.600	408.100	398.000
12.06.2004 09:45	431.000	432.600	432.400	427.200	415.300	405.600
12.06.2004 09:48	428.900	431.000	430.400	427.000	419.900	408.500
12.06.2004 09:51	431.600	443.100	445.700	439.400	428.800	422.900
12.06.2004 09:54	443.300	448.100	447.000	439.900	432.200	426.900
12.06.2004 09:57	440.700	445.000	446.400	440.000	433.500	425.300
12.06.2004 10:00	437.300	441.700	446.100	441.100	430.700	416.400
12.06.2004 10:03	444.700	447.100	445.600	440.100	435.300	427.100
12.06.2004 10:06	440.000	439.700	439.100	434.600	426.500	415.100
12.06.2004 10:09	426.500	428.200	426.200	421.800	412.000	401.700
12.06.2004 10:12	439.800	444.600	443.600	433.700	426.900	419.400
12.06.2004 10:15	450.800	453.700	452.500	446.500	434.900	425.300
12.06.2004 10:18	438.600	442.600	440.500	433.600	425.400	418.300
12.06.2004 10:21	430.600	437.600	442.200	437.100	424.400	416.000
12.06.2004 10:24	437.300	441.800	439.900	432.200	425.300	418.400
12.06.2004 10:27	439.200	441.500	442.700	438.400	431.700	424.500
12.06.2004 10:30	447.400	450.200	452.000	449.400	438.700	429.800
12.06.2004 10:33	428.000	432.500	436.700	432.000	419.300	412.200

Atomare Werte

Letzte Aktion:
EMCS v1.1rc2, © 2002-2003 by xS+S

Angemeldet als: xss @ Produktionssystem (sysadm)
Session gültig bis 12.06.2004 19:18 (Abmelden)

Abbildung 8 Tabellarische Auswertung

Die so ermittelten Zeitreihen können aber auch als Liniendiagramme dargestellt werden, wie das folgende Bild zeigt:

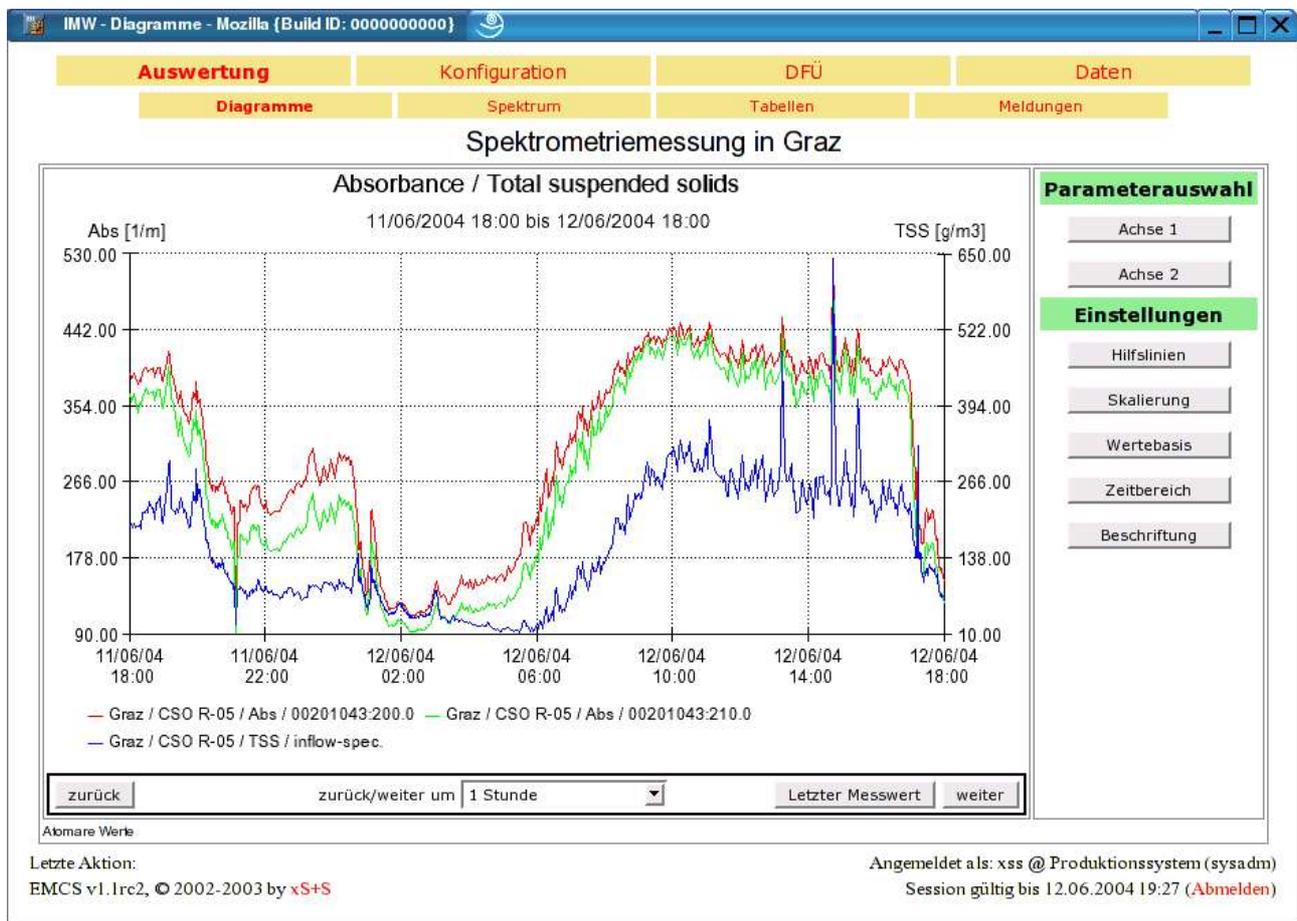


Abbildung 9 Liniendiagrammauswertung

6.3 Konfiguration der Messstationen

Ähnlich wie die IMW Messnetzzentrale sind auch die von der Firma s::can entwickelten Messstationen als allgemein anwendbares und parametrierbares Produkt implementiert und darauf vorbereitet, in unterschiedlichen Anwendungsszenarien und Aufgabengebieten eingesetzt zu werden. Jede Messstation benötigt daher zur Erfüllung ihrer Aufgabe genau wie die Messnetzzentrale eine entsprechende *Parametrierung* und dafür eine Reihe von Konfigurationsinformationen, die das konkrete Anwendungsszenario für die Messstation spezifisch für das jeweilige Aufgabengebiet beschreiben.

Ein Teil dieser Informationen ist im gesamten Messnetz einheitlich und für alle Stationen gültig (z.B. die Liste der im Messnetz konfigurierten physikalischen Parameter und Einheiten), ein anderer Teil ist stationsspezifisch und gilt nur für eine bestimmte Messstation (z.B. die Zuordnung eines bestimmten Messgeräts zu einem Probenahmestellenparameter). Ein Teil der stationsspezifischen Informationen wird wiederum auch von der Messnetzzentrale

benötigt, um die Messstation in das Messnetz integrieren und die gelieferten Messdaten zu ordnen zu können.

Um dem Anwender die Konfigurationstätigkeiten zu erleichtern, wurden im Datenübertragungsprotokoll zwischen Messnetzzentrale und Messstation verschiedene Funktionen vorgesehen, die die Übertragung von bestimmten, messnetz-globalen Konfigurationsdaten von der Messnetzzentrale zur Station einerseits und die Übertragung von bestimmten, stationsspezifischen Konfigurationsdaten von der Messstation zur Messnetzzentrale andererseits erlauben.

Durch diesen gegenseitigen und automatischen Konfigurationsdatenaustausch reduziert sich der Konfigurationsaufwand für den Anwender sowohl bei der erstmaligen Inbetriebnahme einer Messstation, als auch bei späteren Konfigurationsänderungen erheblich, da die entsprechenden Konfigurationsparameter nur ein einziges Mal manuell eingegeben werden müssen.

Auf eine vollständige Fernkonfigurationsmöglichkeit der Messstation durch die Messnetzzentrale wurde in diesem Projekt verzichtet, da die Implementation der dazu erforderlichen Funktionen auf der Messstation mit den vorhandenen Ressourcen nur sehr schwer möglich gewesen wäre. Einer Integration dieser Funktionen in weiteren Versionen des Übertragungsprotokolls und der Software steht jedoch prinzipiell nichts im Wege.

6.4 Heterogene Kommunikations-Infrastruktur

Die Messstationen im IMW Messnetz sind an sehr unterschiedlichen Orten, verteilt über ein großes Gebiet platziert. Die Verfügbarkeit von klassischer Telekommunikationsinfrastruktur wie analoge Telefonleitungen oder ISDN Anschluss ist daher nicht immer gegeben und keinesfalls kann davon ausgegangen werden, dass im gesamten Messnetz eine für alle Messstationen einheitliche TK Infrastruktur zur Verfügung steht.

Aber auch die Messstationen selbst können prinzipiell unterschiedlich sein, von verschiedenen Herstellern stammen und unterschiedliche Funktionen und Kommunikationsprotokolle verwenden.

Aus diesem Grund muss die Messnetzzentrale die Möglichkeit zum Einsatz einer heterogenen Kommunikations-Infrastruktur und zur Ansteuerung unterschiedlicher Messstationstypen bieten. Dies wird durch das bereits beschriebene Konzept der Abstrahierung und der Client/Server Datenübertragung erreicht.

Im IMW Projekt bedeutet dies konkret vor allem die Möglichkeit, unterschiedliche Kommunikationswege zu den einzelnen Stationen benutzen zu können. Dies wurde und wird auch im regulären Messnetzbetrieb intensiv genutzt.

- Die Anbindung der WWTP Station der TU Wien erfolgte während der Testphase direkt über das lokale Netz am Institut (Ethernet), wohingegen die Station an der Kläranlage vor Ort über ein herkömmliches Analogmodem angebunden ist.
- Die Messstation der Universität für Bodenkultur an der Donau unterhalb von Wien ist seit Beginn des Produktionsbetriebs über ein GSM Modem an die Messnetzzentrale angebunden.
- Die Kanal-Messstation der TU Graz wurde anfänglich ebenfalls über ein GSM Modem abgefragt, ist jedoch nun nach Herstellung einer Glasfaserleitung mit dem internen Netzwerk der Stadt Graz und weiter über einen VPN Tunnel mit der IMW Messnetzzentrale

verbunden. Die GSM Anbindung ist jedoch nach wie vor funktionsbereit und dient als Backup-Kommunikationskanal für den Fall einer Störung des VPN oder der Glasfaserleitung.

- Die vor einiger Zeit in das Messnetz integrierten Messstationen am Flusslauf des Adige (Etsch) in Italien werden über Analogmodems abgefragt, wobei zur Reduktion der Datenübertragungskosten ein eigener Server zur Kommunikation mit den Stationen in den Räumlichkeiten des Dipartimento di Ingegneria Civile der Universität Brescia installiert ist. Dieser Server ist über das Internet unter Verwendung eines Virtual Private Network (VPN) mittels IPsec Technologie mit dem IMW Zentralserver in Wien verbunden, der die Kommunikation steuert.

Jeder Kommunikationsweg benötigt in der Regel spezifische Einstellungen für Wahl- und Datensatz-Wiederholungen, Behandlung von Zeitüberschreitungen und Einstellungen zur Fehlersicherung, die über verschiedene Kommunikationsparameter in der Messnetzzentrale vorgegeben werden können.

Das flexible Kommunikationskonzept der IMW Messnetzzentrale erlaubt die Verwendung unterschiedlichster Protokolle und Übertragungseinrichtungen und gibt dem Anwender die Möglichkeit, die für den jeweiligen Anwendungszweck am besten geeignete Technologie einzusetzen.

7. Produktionsbetrieb

Die Messnetzzentrale und das gesamte Messnetz befinden sich nunmehr seit knapp zwei Jahren im Produktionsbetrieb und liefern seither ohne Unterbrechung Messwerte. Seltene Ausfälle der Internetanbindung und anderer Datenübertragungseinrichtungen, die während des Betriebs bisher aufgetreten sind, konnten durch die in den Messstationen und der Messnetzzentrale vorgesehenen Maßnahmen wie Zwischenspeicher für Messdaten und Verwaltungsfunktionen für einen lückenlosen Datenbestand überbrückt werden.

7.1 Start des Messnetzbetriebs

Der Beginn des Messnetzbetriebs erfolgte im September 2002 mit der Installation und Inbetriebnahme des IMW Zentralservers am Institut für Wassergüte der Technischen Universität Wien und den beiden Auswerteservern am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Graz und am Institut für Wasservorsorge der Universität für Bodenkultur in Wien, sowie der Anbindung der ersten Messstation (Kanal-Messstation in Graz). In den darauf folgenden Wochen wurden Schritt für Schritt die weiteren Messstationen in Betrieb genommen und in das Messnetz eingebunden.

7.2 Erweiterungen und Modifikationen

Während des Produktionsbetriebs wurden einige Erweiterungen sowohl der Hardware als auch der Software der Messnetzzentrale vorgenommen. Mit der Integration weiterer Messstationen und der Verlängerung der ursprünglich geplanten Dauer des Messnetzbetriebs konnte die Flexibilität und das Potential der gewählten Lösung erfolgreich unter Beweis gestellt werden.

Verschiedene Erkenntnisse im laufenden Betrieb führten zu Modifikationen wie zum Beispiel der Änderung der Netzwerk-Anbindung der Messstation in Graz von GSM Datenübertragung hin zu einer Anbindung über ein VPN über das Internet, oder die Aufteilung des Zentralservers in einen eigenen Applikations- und Datenbankserver.

Erweiterungen der Software umfassten die Implementation eines Moduls zum Datenexport in einem speziellen Format (ASW Format), das im Zuge der Anbindung einiger Messstationen aus Italien realisiert wurde, sowie die Implementation einiger zusätzlicher Auswertungen und Funktionen, die von xS+S zur Verfügung gestellt wurden.

7.3 Aktueller Stand

Die IMW Messnetzzentrale verwaltet derzeit (Stand Juni 2004) etwa 180 Millionen atomare Messwerte und 120 Millionen aggregierte Messwerte. Das gesamte Messnetz umfasst 30 Probenahmestellen in 8 Untersuchungsgebieten und verfügt über Messreihen von 9543 Probenahmestellenparametern, wovon für 2186 Probenahmestellenparameter aktiv Messwerte geliefert werden. Der Platzbedarf der Datenbank inklusive Metadaten und Indexdateien beträgt derzeit etwa 62 GB und wächst kontinuierlich mit dem Datenbestand.

Die Messnetzzentrale führt täglich 39 Datenabrufe automatisch durch und überträgt dabei durchschnittlich vier bis fünf Megabyte an Messdaten und sonstigen Informationen wie Statusmeldungen, Zustandsdaten oder Konfigurationsinformationen von den Messstationen in die Messnetzzentrale. Die Datenabrufe dienen auch zur Steuerung der Messstationen und zur regelmäßigen Synchronisation der in den Stationsrechnern eingebauten Uhren.

Der Datenabruf erfolgt je nach Messstation über unterschiedliche Übertragungswege und nutzt dabei die bereits beschriebenen Möglichkeiten des Client/Server Datenübertragungskonzepts.

Die Messnetzzentrale verwaltet etwa 20 Benutzer in 14 verschiedenen Rollen und verzeichnet momentan mehrere hundert Zugriffe und Auswertungen von Messdaten pro Tag durch verschiedene Benutzer des Systems (inklusive anonyme Zugriffe aus dem Internet).

7.4 Wartung und Support

Die regelmäßige Wartung und Betreuung des IMW Zentralservers wird von xS+S im Rahmen eines Wartungsvertrags durchgeführt. Die Möglichkeiten des Betriebssystems Linux erlauben dabei die Durchführung fast aller Aufgaben mittels Fernzugriff, der ebenfalls über ein IPsec VPN zwischen dem IMW Zentralserver und der Netzwerk-Infrastruktur bei xS+S erfolgt. Die Systemkomponenten sind in das xS+S Fernüberwachungssystem eingebunden, das Ausfälle einzelner Dienste an den zentralen Überwachungsserver bei xS+S meldet. Dadurch kann im Fehlerfall rasch reagiert und eingegriffen werden. Mit dieser Infrastruktur wird von xS+S eine große Zahl von Kundensystemen betreut, wodurch auch das IMW Projekt von der vorhandenen Infrastruktur und dem Know How profitiert.

Im Rahmen der Wartung wird jedoch nicht nur die Funktion und Sicherheit der Server und des Betriebssystems selbst überwacht und sichergestellt, sondern auch die Administration des Datenbank-Managementsystems durchgeführt. Dies umfasst die typischen Routineaufgaben und Maßnahmen zur Sicherstellung des reibungsfreien Betriebs des Oracle DBMS.

In bestimmten Ausnahmefällen übernimmt xS+S auf Anforderung durch die Anwender auch die Durchführung von Datenbank-Abfragen auf SQL Ebene, sowie die Überprüfung von Logdateien oder Fehlerzuständen, die gerade beim Betrieb eines Datenübertragungsnetzwerks mit einer sehr heterogenen Kommunikationsinfrastruktur durchaus auftreten können.

8. Zusammenfassung

Ein Online-Umwelt-Messnetz ist ein komplexes System und erfordert die nahtlose Kooperation vieler unterschiedlicher Komponenten aus den Bereichen Informationstechnologie und Messtechnik. Der Aufbau eines Online-Messnetzes ist daher eine Aufgabe, die keinesfalls trivial ist und eine sorgfältige Analyse der konkreten Anforderungen, ein sorgfältiges Design und eine konsequente Implementation erfordert.

Auch der laufende Betrieb eines Online-Messnetzes ist nicht trivial und erfordert zur Erzielung sinnvoller Messergebnisse eine überlegte Planung und eine sorgfältige Betreuung der vorhandenen Infrastruktur. Die Möglichkeiten und Funktionen der Messnetzzentrale bieten dabei Unterstützung und Entlastung für den Messnetzbetreiber, können in der Praxis die Fachkompetenz bei der Bewertung von Messergebnissen oder Fehlerzuständen und die letztgültige Entscheidungsfindung in Alarmsituationen durch geschultes Personal jedoch nicht vollständig ersetzen.

Das Messnetz des IMW Projekts liefert nun schon seit fast zwei Jahren wertvolle Messergebnisse und beweist, dass, ähnlich wie in der Luftqualitätsüberwachung seit mehreren Jahren üblich, die kontinuierliche Online-Messung von Wasserqualitätsdaten und die Information der interessierten Öffentlichkeit mit vertretbarem Aufwand möglich und sinnvoll ist.

Das IMW Projekt hat aber auch gezeigt, wo Verbesserungspotential besteht und Abläufe auch im Bereich der Messnetzzentrale optimiert werden können. Es bleibt zu hoffen, dass diese Erkenntnisse in zukünftige Projekte einfließen und zum Nutzen aller Beteiligten angewendet werden können.

9. Danksagung

xS+S dankt der Forschungsgemeinschaft „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ und den Fördergebern für das entgegengebrachte Vertrauen und hofft, dass die im Projekt erzielten Ergebnisse dieses Vertrauen im Sinne aller Beteiligten gerechtfertigt haben.

Besonders möchten wir uns bei den jeweiligen Projektleitern, Herrn Dr. Günter Gruber vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der Technischen Universität Graz, Herrn Dr. Günter Langergraber und Herrn DI Alexander Pressl vom Institut für Wasservorsorge, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft, Abteilung für Siedlungswasserbau und Gewässerschutz der Universität für Bodenkultur in Wien, Herrn DI Stefan Winkler vom Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien sowie Herrn DI Martin Ecker vom Ingenieurbüro Depisch in Fürstenfeld für die konstruktive Zusammenarbeit während aller Phasen des Projekts bedanken.

Unser Dank gilt auch der Geschäftsleitung und den Technikern der Firma s::can in Wien als Hersteller der Messstationen für die produktive Zusammenarbeit bei der Integration der Teilkomponenten des Messnetzes zu einem funktionierenden Ganzen.

Schließlich möchten wir uns noch bei Herrn DI Nikolaus Fleischmann von Hydrophil in Wien als einem der „Väter“ von IMW und anderer Online-Messtechnikprojekte für die langjährige positive Zusammenarbeit in diesem und auch in vorangegangenen Projekten bedanken.

Wir wünschen uns und allen am Projekt beteiligten Institutionen und Personen, dass die Ergebnisse des Projekts „Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft“ eine wertvolle Grundlage für weitere erfolgreiche Projekte in der Zukunft sein werden.

xS+S

**x Software + Systeme*

Andreas Haumer, Altendorf 37, A-3242 TEXING
Büro: Karmarschgasse 51/2/20, A-1100 WIEN
Tel: +43-1-6060114-0, +43-664-3004449
Fax: +43-1-6060114-71
EMail: office@xss.co.at
WWW: <http://www.xss.co.at/>

Korrespondenz an:

xS+S

z.H. Andreas Haumer
Karmarschgasse 51/2/20
A-1100 Wien

Tel: +43 1 6060114 0
Fax: +43 1 6060114 71

Mail: andreas@xss.co.at
Web: <http://www.xss.co.at/>

xS+S

*x Software + Systeme

Andreas Haumer, Altendorf 37, A-3242 TEXING
Büro: Karmarschgasse 51/2/20, A-1100 WIEN
Tel: +43-1-6060114-0, +43-664-3004449
Fax: +43-1-6060114-71
EMail: office@xss.co.at
WWW: <http://www.xss.co.at>

Datei: /home/andreas/text/office/2004/Kunden/Arge_IMW/Abschluss-Seminar/IMW_MNZ.sxw
Erstellt: Sa, 27. Dezember 2003, 17:50:35 ()
Geändert: Mi, 30. Juni 2004, 11:38:16 (Andreas Haumer)
Version: 1.2
Titel: Die IMW Messnetzzentrale
Thema: Von der Anforderungsanalyse zum Regelbetrieb

Referenz: PR0203-004
Status: interne Dokumentation

Linux ist ein eingetragenes Warenzeichen von Linus Torvalds. Alle anderen Produkt- und Markennamen sind eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Hersteller. Dieses Dokument wurde ausschließlich mit Linux Software erstellt. Copyright © 2004 by xS+S.