



Leibniz-Rechenzentrum
der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Das Münchner Wissenschaftsnetz (MWN)
Konzepte, Dienste, Infrastruktur und
Management

Mai 2015

Wolfgang Hommel, Helmut Reiser

Direktorium:
Prof. Dr. A. Bode (Vorsitzender)
Prof. Dr. H.-J. Bungartz
Prof. Dr. H.-G. Hegering
Prof. Dr. D. Kranzlmüller

Leibniz-Rechenzentrum
Boltzmannstraße 1
85748 Garching
E-Mail:
UST-ID Nr. DE811335517

Telefon +49-89-35831-8000
Telefax +49-89-35831-9700
lrzpost@lrz.de
Internet: www.lrz.de

Inhaltsverzeichnis

1 Grundsätze	5
2 Bedarfsbegründende Grunddaten	5
2.1 Allgemeine Angaben zur Ludwig-Maximilians-Universität München	7
2.2 Allgemeine Angaben zur Technischen Universität München	8
2.3 Allgemeine Angaben zur Hochschule München	8
2.4 Allgemeine Angaben zur Hochschule Weihenstephan-Triesdorf	9
2.5 Standorte	9
2.6 Mengengerüst zur Netznutzung	12
3 Netzdienste	12
3.1 Stand der Netzdienste	16
3.1.1 Standarddienste	16
3.1.2 Backup und Archiv	16
3.2 Entwicklung des Dienstspektrums	16
3.2.1 Standarddienste	16
3.2.2 Daten- und Speicherverwaltung	17
3.2.3 Verzeichnisdienste	17
3.2.4 Managed Hosting für Hochschulstart	18
3.3 Dienstqualität	18
4 Netzstruktur	18
4.1 Aktueller Stand	18
4.1.1 Netzstrukturierung und Komponenten	21
4.1.2 Internetzugang und Redundanz	21
4.1.3 WDM-Systeme	22
4.1.4 Zugänge zum MWN von außerhalb	23
4.1.5 Zugang zum MWN für mobile Endgeräte; WLAN	23
4.2 Entwicklung der Netzstrukturen	24
4.2.1 Verkabelung	24
4.2.2 Netzstrukturierung und Komponenten	25
4.2.3 Zugänge zum MWN von außerhalb	26
4.2.4 WLAN; Zugang zum MWN für mobile Endgeräte	26
4.3 Netztechnologien	28

5	Netzintegration	28
5.1	Sprachkommunikation	28
5.2	Verwaltungsnetze	29
5.3	Facility-Management-Netze	29
6	Verantwortungs- und Zuständigkeitsverteilung	30
6.1	Planung	30
6.2	Betrieb	31
6.2.1	Verkabelungsinfrastruktur	31
6.2.2	Netzkomponenten	31
6.2.3	Netzdienste	31
6.2.4	Verfügbarkeit der angebotenen zentralen Netzdienste	32
6.2.5	Verwaltung von IP-Adressen	33
6.2.6	Betrieb des Domain-Name-Systems (DNS und DNSSEC)	33
6.2.7	DHCP	34
6.2.8	Firewall	34
6.2.9	Internet-Anschluss	36
6.2.10	PRACE	36
6.2.11	Multicastdienst	36
6.2.12	RADIUS-Server	36
6.2.13	VPN-Server	37
6.2.14	Mail-Server und Mailrelays	37
6.2.15	VideoConference (VC)-Dienst und Gatekeeper für das MWN	37
6.2.16	NTP-Dienst	37
6.2.17	Nyx/Nessi	38
7	Administration	38
7.1	Adress- und Namensräume	38
7.2	Benutzerverwaltung	40
7.3	Geräte	41

8 Sicherheit	41
8.1 Schutz gegen Missbrauch und Angriffe	42
8.2 Sicherer Verkehr über unsichere Netze	42
8.3 Sicherung der Endgeräte und Zugangskontrollstrategien	43
8.3.1 Berechtigte Geräte	43
8.3.2 Berechtigte Nutzer	43
8.4 Maßnahmen zum sicheren Betrieb des Netzes	43
8.4.1 Sicherung der Verteilerräume	43
8.4.2 Stromversorgung der Verteilerräume, Klimatisierung und Brandschutz	44
8.4.3 Ausfallsicherheit durch Redundanz	44
8.4.4 Managementnetz	44
9 Datenschutz	45
10 Accounting	45
10.1 Nutzungsstatistik zu Informations- und Planungszwecken	46
10.2 Accounting zu Abrechnungszwecken	46
11 Betriebs- und Nutzungsregelungen	47
12 Unterstützung dezentraler Systeme und Dienste über das Netz	47
12.1 Mail- und Groupware-Services	48
12.2 Verzeichnisdienst-Services	48
12.2.1 TUMonline-Verzeichnisdienste	48
12.2.2 LRZ Identity Management mit LDAP-Verzeichnisdiensten	49
12.3 DFN-AAI: Authentifizierungs- und Autorisierungsinfrastruktur	49
12.4 WWW-Dienste	49
12.5 File-Service	50
12.6 Backup/Archivierung	50
12.7 Storage Area Network	50
12.8 Windows- und Linux-Netzdienste	51
12.9 Softwareverteilung	52

13 Netz- und Dienstmanagement	52
13.1 Dienstqualität	52
13.2 Dienstgüte	52
13.2.1 Verfügbarkeit	52
13.2.2 Class-of-Service / Quality-of-Service	53
13.2.3 Service-Level-Reporting	53
13.3 Wartung	54
13.4 Netzüberwachung	55
13.5 Incident und Change Management nach ISO/IEC 20000	56
14 Personelle Zuordnung	56
15 Anlage: Liste aller MWN-Unterbezirke	57

1 Grundsätze

Das Münchner Wissenschaftsnetz (MWN) verbindet die Gebäude der Münchner Hochschulen; darüberhinaus sind viele außeruniversitäre Einrichtungen angeschlossen. Das MWN ist als flächendeckendes Netz kontinuierlich auf dem jeweils aktuellen Stand der Technik zu halten, um bedarfsorientiert Kapazitäten bereitzustellen. Jeder Mitarbeiter und jeder Student der an diesem Netz angeschlossenen Institutionen soll an seinem Arbeitsplatz und bei Bedarf auch von zu Hause oder unterwegs aus komfortablen und uneingeschränkten Zugang zu allen Netzdiensten haben, die er für seine Arbeit in Forschung, Lehre und Studium benötigt. Das Netz vermittelt den Zugang zu Servern bzw. zu Netzdiensten innerhalb des MWN, zu nationalen und internationalen Wissenschaftsnetzen und zum allgemeinen Internet. Bei Planung, Ausbau und Betrieb des MWN wirken Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), zuständige Bauämter und angeschlossene Institutionen eng zusammen.

2 Bedarfsbegründende Grunddaten

Das Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ist gemeinsames Rechenzentrum der

- Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAdW)
- Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)
- Technischen Universität München (TUM)

Es bedient auch die

- Akademie der Bildenden Künste
- Hochschule München (HM)
- Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT)

Zudem wird das MWN mitgenutzt von:

- AFK - Ausbildungs- und Fortbildungskanäle Bayern
- Archäologische Staatssammlung
- Bauamt 2 München
- Bayerisches Armeemuseum Ingolstadt
- Bayerische Staatsbibliothek
- Bayerische Staatsbrauerei
- Bayerische Staatsgemäldesammlung
- Bayerische Theaterakademie August Everding
- Bayerisches Nationalmuseum

- Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE)
- Botanischer Garten
- Deutscher Wetterdienst
- Deutsches Herzzentrum
- Deutsches Theatermuseum
- Die Neue Sammlung
- Dörner Institut
- Fraunhofer Institut für angewandte und integrierte Sicherheit (AISEC)
- Fraunhofer Institut BioCAT in Straubing
- Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackungen in Weihenstephan
- Garching Technologie- und Gründerzentrum (GATE)
- General Electric Global Research
- Generaldirektion der Staatlichen Naturwissenschaftlichen Sammlungen
- Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS)
- Hochschule für Fernsehen und Film
- Hochschule für Musik und Theater
- Hochschule für Philosophie
- Hochschule für Politik
- Innovations- und Gründerzentrum Biotechnologie (IZB) in Martinsried und Weihenstephan
- Isotopen Technologie München (itm)
- Kath. Stiftungsfachhochschule München
- Max-Planck-Gesellschaft, Zentralverwaltung
- Max-Planck-Institut für Biochemie
- Max-Planck-Institut für Neurobiologie
- Max-Planck-Institut für Physik
- Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
- Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik
- Max-Planck-Institut für Psychiatrie
- Monumenta Germaniae Historica
- Munich Creative Networks (MCN) Verein
- Museum Brandhorst
- Museum für Abgüsse klassischer Bildwerke

- Neues Museum Nürnberg
- Pinakotheken
- Prähistorische Staatssammlung
- Schack-Galerie
- Staatliche Antikensammlung
- Staatliche Graphische Sammlung
- Staatliches Museum für Ägyptische Kunst
- Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung
- Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung
- Studentenwerk München (und dessen Studentenwohnheime)
- Studentenwohnheime anderer Träger
- Umweltforschungsstation Schneefernerhaus
- Wissenschaftszentrum Straubing
- Zentralinstitut für Kunstgeschichte
- Zentrum für Arbeitsbeziehungen und Arbeitsrecht (ZAAR)
- Zoologische Staatssammlung

2.1 Allgemeine Angaben zur Ludwig-Maximilians-Universität München

- Fakultäten:
 - Evangelisch-Theologische Fakultät
 - Fakultät für Betriebswirtschaft
 - Fakultät für Biologie
 - Fakultät für Chemie und Pharmazie
 - Fakultät für Geowissenschaften
 - Fakultät für Geschichts- und Kunstwissenschaften
 - Fakultät für Kulturwissenschaften
 - Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik
 - Fakultät für Philosophie, Wissenschaftstheorie und Religionswissenschaft
 - Fakultät für Physik
 - Fakultät für Psychologie und Pädagogik
 - Fakultät für Sprach- und Literaturwissenschaften
 - Juristische Fakultät
 - Katholisch-Theologische Fakultät
 - Medizinische Fakultät
 - Sozialwissenschaftliche Fakultät
 - Tierärztliche Fakultät

- Volkswirtschaftliche Fakultät
- Studierende (im WS 2014/2015): 52.006
- Personal (ohne Kliniken): 747 Professoren, 3.019 Wissenschaftler, 2.407 Angestellte
- Räume (ohne Kliniken): 14.000 Räume auf 423.067 m^2 Hauptnutzfläche

2.2 Allgemeine Angaben zur Technischen Universität München

- Fakultäten:
 - Architektur
 - Bauingenieur- und Vermessungswesen
 - Chemie
 - Elektrotechnik und Informationstechnik
 - Ernährung, Landnutzung und Umwelt
 - Informatik
 - Maschinenwesen
 - Mathematik
 - Medizin
 - Physik
 - Sportwissenschaft
 - TUM School of Education
 - Wirtschaftswissenschaften
- Studierende (im WS 2014/2015): 37.343
- Personal: 501 Professoren, 6.168 sonstige Wissenschaftler, 3.232 Nicht-Wissenschaftler
- Räume (ohne Kliniken): 15.857 Räume auf 534.237 m^2 Hauptnutzfläche

2.3 Allgemeine Angaben zur Hochschule München

- Fakultäten:
 - Allgemeinwissenschaften
 - Architektur
 - Bauingenieurwesen
 - Betriebswirtschaft
 - Elektrotechnik und Informationstechnik
 - Feinwerk- und Mikrotechnik, Physikalische Technik
 - Geoinformationswesen
 - Gestaltung
 - Informatik, Mathematik
 - Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik
 - Sozialwesen

- Tourismus
- Versorgungstechnik, Verfahrenstechnik, Druck- und Medientechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen
- Studierende (im WS 2014/2015): 17.800
- Personal: 1.910, davon rund 500 Professoren
- Räume: 2.225 Räume auf 106.741 m^2 Hauptnutzfläche

2.4 Allgemeine Angaben zur Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

- Fakultäten:
 - Biotechnologie und Bioinformatik
 - Gartenbau und Lebensmitteltechnik
 - Landschaftsarchitektur
 - Land- und Ernährungswirtschaft
 - Wald und Forstwirtschaft
 - Landwirtschaft (Triesdorf)
 - Umweltsicherung (Triesdorf)
- Studierende (im WS 2014/2015): 6.300
- Personal: 839, davon 344 Professoren und Lehrbeauftragte
- Räume: 1.274 Räume auf 53.216 m^2 Hauptnutzfläche

2.5 Standorte

Das Münchner Wissenschaftsnetz (MWN) verbindet vor allem Standorte der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), der Technischen Universität München (TUM), der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAW), der Hochschule München (HM) und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf miteinander. Diese Standorte sind insbesondere über die gesamte Münchner Region (i. W. Münchner Stadtgebiet, Garching, Großhadern/Martinsried und Weihenstephan) verteilt, umfassen aber auch weitere Standorte in Bayern. Die zu versorgenden Universitäten stellen von ihrer Ausprägung her keine reinen Campus-Universitäten dar, auch wenn Bestrebungen erkennbar sind, dies in einzelnen Bereichen zu forcieren. Beide Universitäten sind aufgrund der räumlichen Enge der Münchner Innenstadt über viele Gebäudeareale verteilt. Erst in den letzten 20 Jahren erfolgte eine gewisse räumliche Konzentration (TUM in Garching und Weihenstephan, LMU in Großhadern/Martinsried).

Derzeit sind an das MWN mehr als 520 als Unterbezirke bezeichnete Gebäudegruppen in mehr als 50 Arealen angebunden (siehe Abbildung 1). Die Lage von Standorten, die außerhalb des Münchner Stadtgebietes liegen, ist in der Abbildung nicht maßstabsgetreu dargestellt, sondern lediglich schematisch (Himmelsrichtung) angedeutet. Die Größe der zu versorgenden Areale ist sehr unterschiedlich; sie reicht von einem einzelnen Gebäude bis zu einem gesamten Campusbereich (z. B. Garching, Weihenstephan) mit mehr als 30 Gebäuden und mehr als 12.400 angeschlossenen Endgeräten. Derzeit sind bereits 52 Studentenwohnheime mit insgesamt rund 12.500 Wohnheimplätzen am MWN angeschlossen. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die einzelnen Standorte und ihre Verbindungen im Detail.

Die Areale des MWN werden zu Dokumentationszwecken auch mit Kürzeln aus einem oder zwei Zeichen (sog. Unterbezirke) benannt. Siehe hierzu den Anhang *Liste aller Unterbezirke des Münchner Wissenschaftsnetzes* ab Seite 57 oder www.lrz.de/services/netz/ubezliste/.

Die folgende Liste gibt einen ungefähren Eindruck über die wichtigsten an das MWN derzeit angeschlossenen Standorte sowie über die dort an vom LRZ verwaltete Netzkomponenten angeschlossenen Endgeräte. Die Sortierung erfolgt nach der Anzahl der angeschlossenen Endgeräte:

Standort	Unterbezirkabk.	Kabelgebundene Endgeräte	Drahtlose Endgeräte	Summe Endgeräte
LMU, Hauptgebäude	G,S	5.800	23.056	28.856
Campus Garching (mit LRZ)	A,M,W	10.937	8.995	19.932
TUM, Stamm- und Nordgelände	B	5.368	12.628	17.996
LRZ Garching	WR,WC,WL,WZ	13.681	505	14.186
Campus Weihenstephan	J, P,Q	5.698	7.384	13.082
LMU, Ludwigstr., nördl. Adalbertstr.	S (ohne SB)	1.910	6.423	8.333
Hochschule München	RA,RB	5.500	2.598	8.098
LMU, Großhadern/Martinsried	I	4.025	2.612	6.637
LMU, Leopoldstr. 13	L	1.618	4.675	6.293
Königsplatz (LMU,TUM, HFF, Musik-HS etc)	F	2.926	2.807	5.733
Kleinere Studentenwohnheime in Summe		3.052	2.190	5.242
TUM, Medizin Rechts der ISAR	K	5.000		5.000
FH Weihnstephan, Triesdorf	C	867	3.145	4.012
LMU, Theresienstraße 39-43	D	1.756	1.967	3.723
LMU, Oettingerstr. 67	O	1.677	1.421	3.098
Studentenwerk, Wohnheim Studentenstadt	Z1	2.440	0	2.440
Studentenwerk, Wohnheim Olympiadorf	EO	1.853	0	1.853
TUM, Connollystr	E	478	1.344	1.822
Hochschule München, Karlstr.	RW	1.100	281	1.381
LMU, Königinstr.	N	645	514	1.159
TUM, Karlstraße 45	FA	474	515	989
Staatsbibliothek, Ludwigstr. 14	SB	67	866	933
LMU, Deutsches Museum	YU	49	729	778
TUM, Barerstr. 21	FZ	475	226	701
TUM, Marsstraße 20-22	ZB	656	0	656
Badw, Marstallplatz	H	357	236	593
LMU, Oberschleißhem	V	351	222	573
LMU, Luisenstraße	FG	424	141	565
LMU, Sternwarte	ZJ	325	179	504
Akademie der bildenden Künste	YJ	271	228	499
TUM, Baumbachstr. 7	ZM	399	86	485
LMU, Edmund-Rumpler-Straße	XE,XR	162	307	469
TUM, Straubing	U	367	98	465
LMU, Konradstr.	LL	187	107	294
LMU, Winzerstraße 45	YQ	171	121	292
LMU, Schragenhofstr.	ZY	149	87	236
LMU Medizin Innenstadt	T	122	99	221
Studentenwerk, Studentenbibliothek	LS	60	114	174
TUM, Iffeldorf	ZZ	61	45	106
Kath. Stiftungs-FH, Preysingstr. 83	ZK	69		69
Gesamtsumme		81.527	86.951	168.478

Die Anzahl tatsächlich ans MWN angeschlossener Endgeräte ist höher als die Summe der oben angegebenen Werte. Der Grund hierfür ist, dass in die obige Aufstellung die an nicht

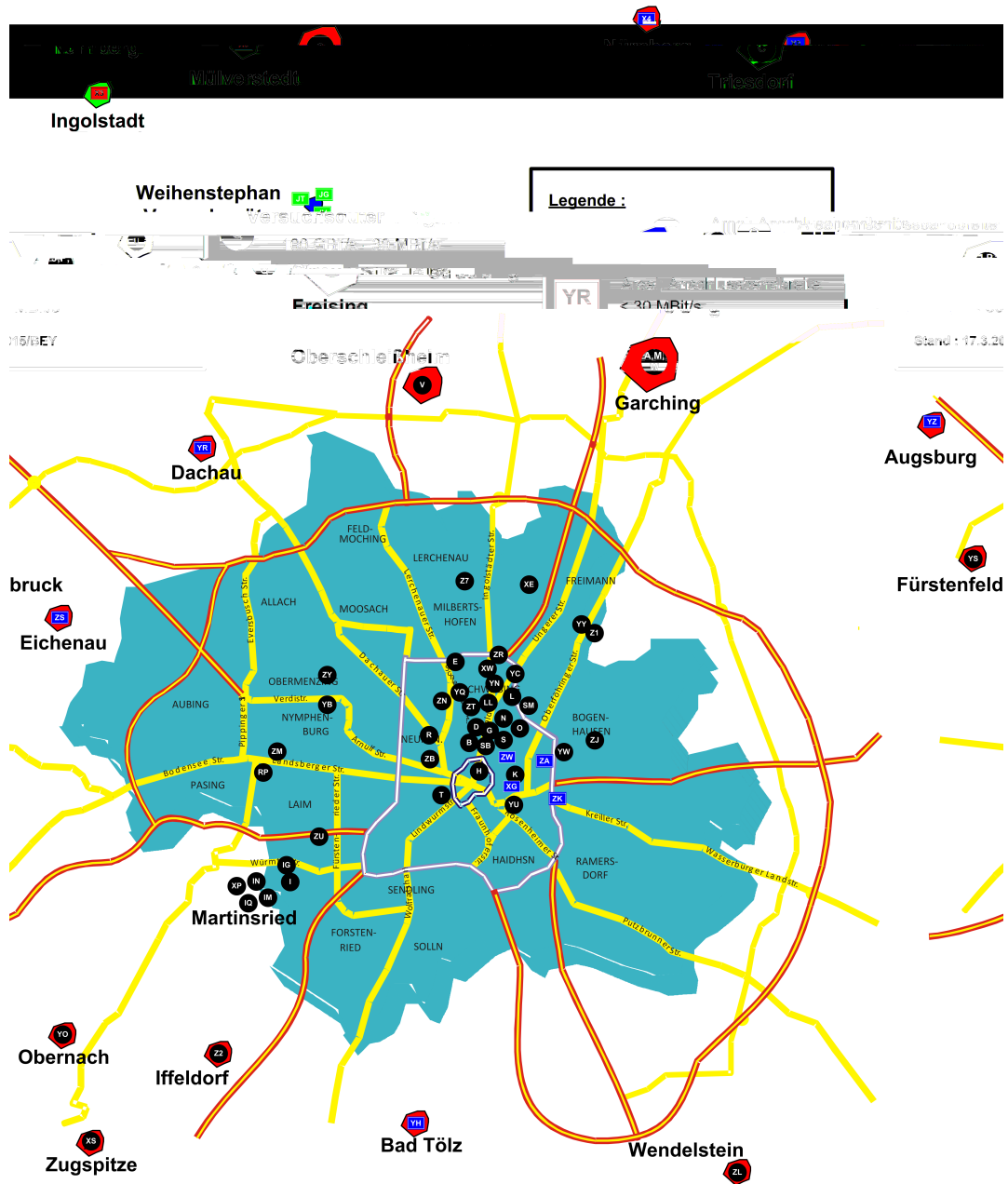


Abbildung 1: Lage der Standorte im MWN (außerhalb Münchens nicht maßstabsgetreu)

vom LRZ verwalteten Netzkomponenten angeschlossenen Endgeräte nicht einfließen. Beispielsweise werden in der Medizin und in der Informatik der TUM sowie in der Hochschule München und mehreren Studentenwohnheimen die Campusnetze selbst verwaltet. Unter Berücksichtigung entsprechender Rückmeldungen dieser nicht direkt erfassten Standorte beträgt die Gesamtzahl der im MWN versorgten Endgeräte derzeit über 180.000.

2.6 Mengengerüst zur Netznutzung

- **Nutzungsberechtigte:** Alle Mitglieder und Angehörigen der angeschlossenen Hochschulen sowie die Mitarbeiter der angeschlossenen Institutionen sind berechtigt, das MWN zu benutzen. Die Fakultäten der Medizin (LMU, TUM), der Informatik (TUM) sowie der Hochschule München betreiben die in ihren Räumen gelegenen Netzstrukturen selbst. Dies ist begründet u. a. in den geänderten Anforderungen an Medizinetze und dem speziellen Lehr- und Forschungscharakter von Informatiknetzen. Der Anschluss zum Internet (X-WiN und Backup über M-net) wird jedoch gemeinsam genutzt.
- **Eingetragene Nutzer:** Die LRZ-Benutzerverwaltung wird von den Campus-Management-Systemen der beiden Münchner Universitäten gespeist und durch überwiegend manuelle Eintragung aller anderen Benutzer – dies umfasst sowohl Benutzer innerhalb des MWN als auch High-Performance-Computing-Nutzer und Grid-User aus dem deutschen und internationalen Umfeld – ergänzt. Insgesamt nutzen derzeit mehr als 130.000 Kennungen Dienste am LRZ.
- **Arbeitsplatzrechner:** Über 83.000 fest angeschlossene Arbeitsplatzrechner und rund 98.000 per WLAN angebundene Systeme sind zu versorgen; zusätzlich werden etwa 5% (5.000) der ans MWN angeschlossenen Systeme als Server eingesetzt. Abbildung 4 zeigt die Anzahl der verschiedenen im MWN angemeldeten Geräte innerhalb der jeweils letzten 7 Tage über ein Jahr.
- **Netzdienste:** Charakteristische Daten für die wichtigsten Netzdienste sind:
 - Durchschnittlicher Durchsatz X-WiN ca. 1.000 TByte/Monat empfangene und ca. 600 TByte/Monat gesendete Daten.
 - Etwa 5.500.000 E-Mails, die pro Monat über das Mail-Relay des LRZ zugestellt werden; dabei werden fast 200 mal so viele weitere E-Mails gar nicht erst angenommen, weil sie durch Greylisting und andere Verfahren als Spam identifiziert werden.
 - Etwa 3.500 TByte werden pro Monat für Backup und Archiv über das MWN zum Archiv-Server im LRZ transportiert.
 - Etwa 19.000 verschiedene Benutzer pro Woche verbinden sich zu den VPN-Servern.
 - Mehr als 2.750 WLAN-Accesspoints.

Das zur Erbringung dieser Dienste eingesetzte Rechenzentrums-Kernnetz ist in Abbildung 5 dargestellt.

3 Netzdienste

Im Folgenden werden der Stand der Netzdienste, die Entwicklung des Dienstspektrums und die Zielsetzung bezüglich der Dienstqualität beschrieben.



Münchner Wissenschaftsnetz

Teil 1

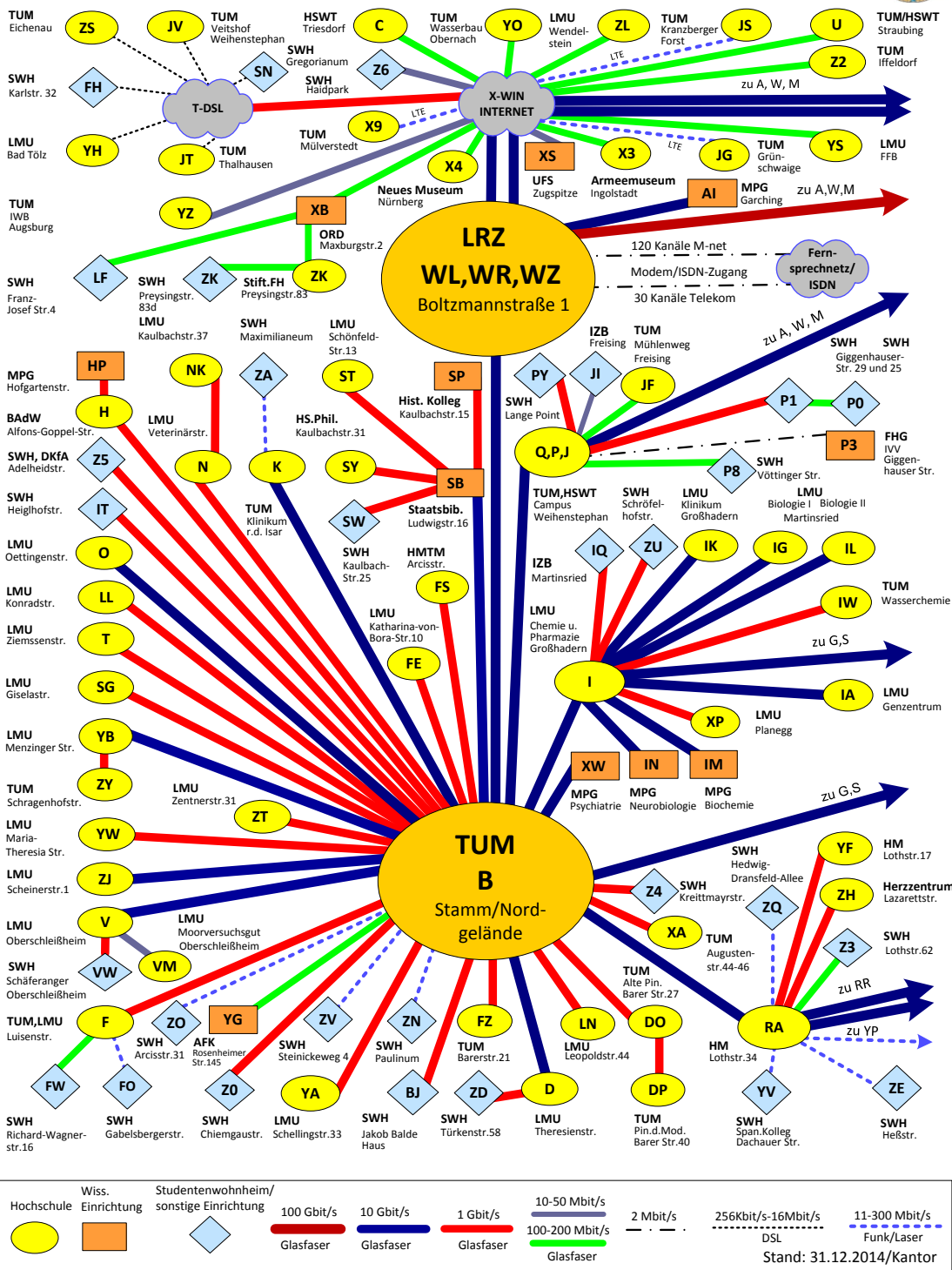


Abbildung 2: Standorte und Verbindungen im MWN, Teil 1/2

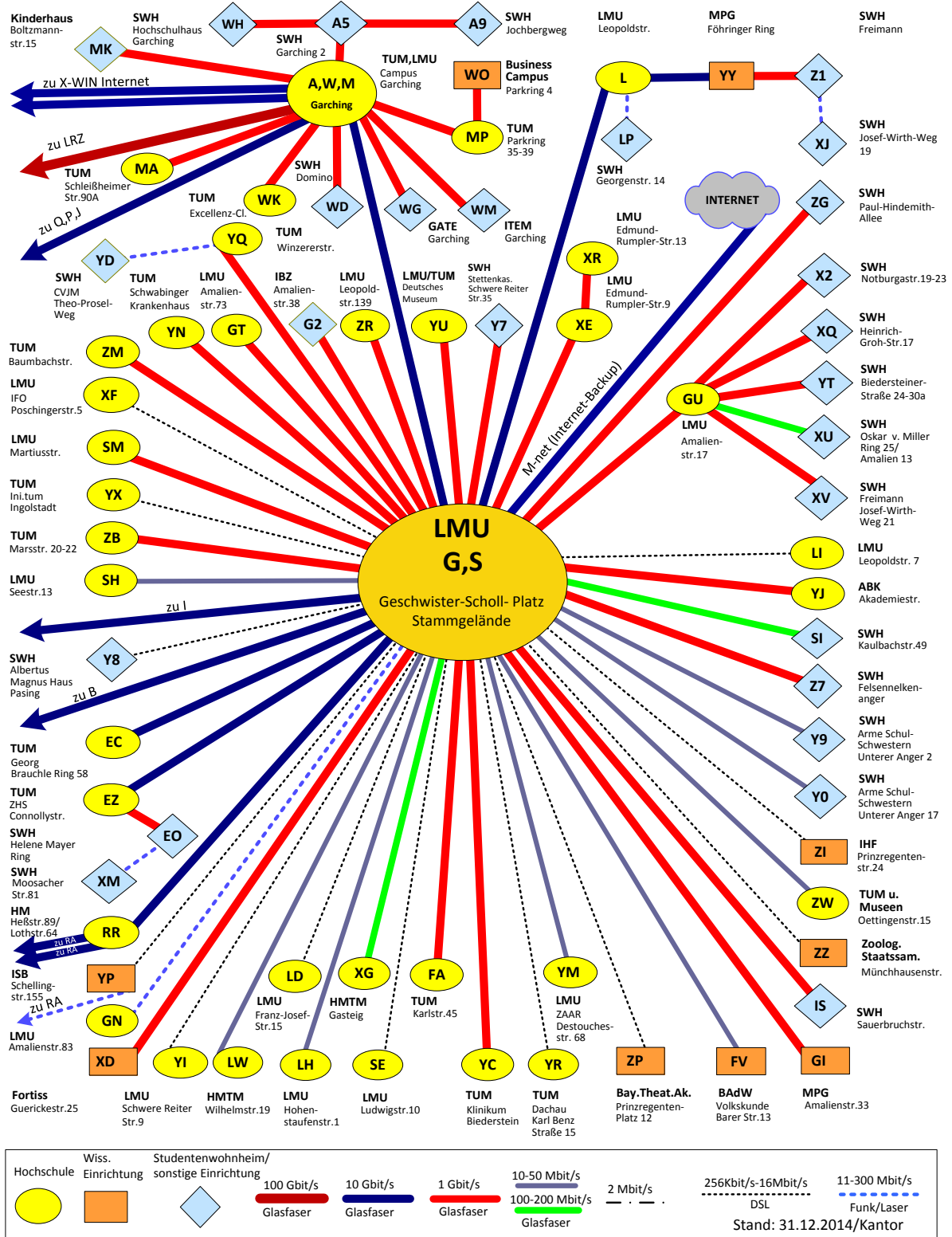


Abbildung 3: Standorte und Verbindungen im MWN, Teil 2/2

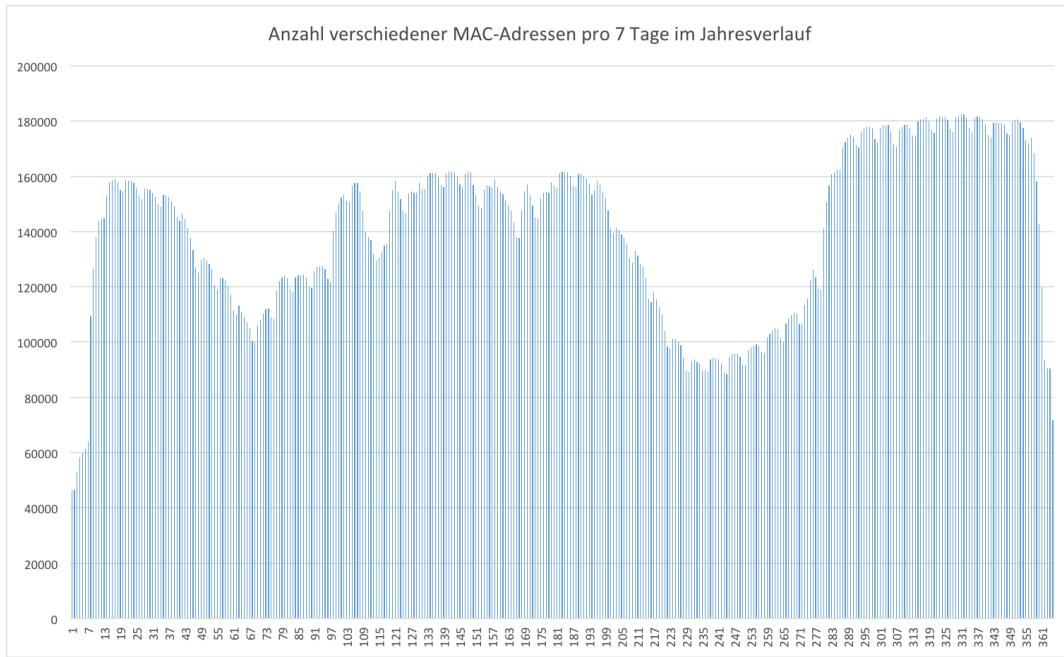


Abbildung 4: Anzahl der verschiedenen im MWN angemeldeten Geräte innerhalb der letzten 7 Tage

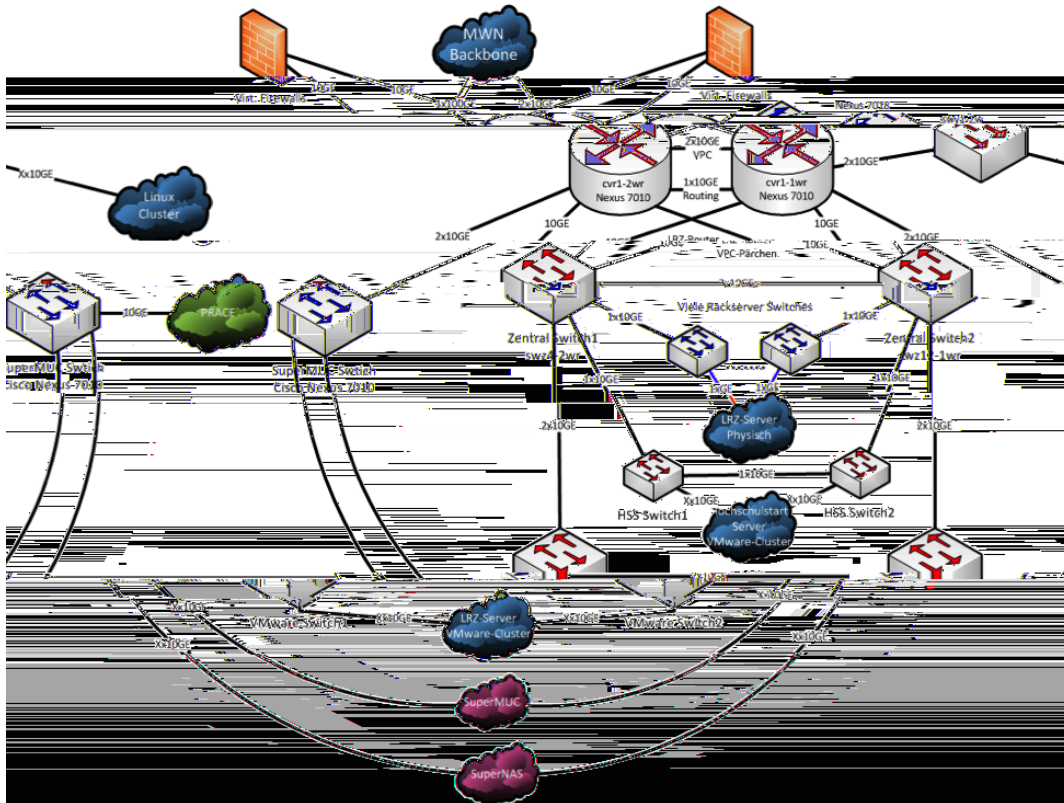


Abbildung 5: Struktur des Kernnetzes im Rechenzentrum

3.1 Stand der Netzdienste

Aufgrund des insgesamt sehr hohen Datenvolumens wird der Backup- und Archivdienst von den übrigen Diensten getrennt behandelt.

3.1.1 Standarddienste

Die vom LRZ betriebenen Dienste wie Webhosting, E-Mail, Datenbanken, Onlinespeicher, Zugang zu Online-Medien usw. stehen allen Berechtigten auf der Basis von Servern und systemnahen Diensten (DNS, NTP, DHCP u. a.) zur Verfügung. Es werden jedoch auch von den Institutionen selbst solche Dienste betrieben.

Als Protokolle werden flächendeckend IPv4 und IPv6 eingesetzt. Nur wenige Dutzend der insgesamt über 900 Subnetze im MWN sind auf Wunsch der Benutzer noch von der IPv4-/IPv6-Dual-Stack-Umgebung ausgenommen und werden nur mit IPv4 versorgt. Bis auf wenige Legacy-Systeme sind alle vom LRZ angebotenen Dienste ebenfalls bereits über IPv6 erreichbar.

3.1.2 Backup und Archiv

Das LRZ betreibt einen zentralen Backup- und Archivierungsdienst, für dessen Nutzung rund 9.000 Rechner (größtenteils Server, die mehrere Arbeitsplatzrechner bedienen) aus über 450 Einrichtungen der Münchner Hochschulen registriert sind. Das Basissystem für allgemeine Anwendungen wurde bereits im Oktober 2004 beschafft. Im Frühjahr 2006 wurde ein weiteres, hochperformantes System installiert, das Hosts mit sehr hohen Datenaufkommen (insbesondere die HPC-Systeme am LRZ) bedient und 2009 in erheblichem Umfang erweitert wurde. Derzeit sind rund 50 PetaBytes Daten auf den Bandbibliotheken gespeichert. Etwa 100 Terabyte werden pro Tag für Backup und Archiv über das MWN zum Archiv-Server im LRZ transportiert. Im Jahr 2012 wurde das neue Hochleistungs-Backup und -Archivsystem (HABS 2.0), das primär für den SuperMUC dient, aufgebaut. HABS 2.0 bietet eine Gesamtkapazität von 55 PB.

3.2 Entwicklung des Dienstspektrums

Auch bei der Entwicklung des Dienstspektrums wird nach Standarddiensten und den Backup- und Archivdiensten differenziert; zudem werden die Verzeichnisdienste betrachtet, die eine einrichtungsübergreifend konsistente Benutzerverwaltung im MWN ermöglichen.

3.2.1 Standarddienste

Die Standarddienste müssen so weiterentwickelt werden, dass

- die rasch (derzeit ca. Faktor 1,5 pro Jahr) ansteigenden Volumina bewältigt werden,
- weitgehende Ausfallsicherheit (Hochverfügbarkeit) erreicht wird,
- Quality of Service (QoS) einführbar wird und
- die Sicherung gegen Angriffe und Missbrauch verbessert wird (Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit).

3.2.2 Daten- und Speicherverwaltung

Die Anzahl der Teilnehmer an Backup und Archivierung nimmt seit Jahren kontinuierlich zu. Dabei werden in aller Regel nicht einzelne Arbeitsplatzrechner, sondern lokale Server gesichert, die wiederum ihre Daten den Arbeitsplatzrechnern zur Verfügung stellen.

Im Rahmen des DFG-geförderten Projekts IntegraTUM ist eine hochschulweit nutzbare Datenspeicherplattform, die über Datensicherungs- und Archivierungsfunktionen verfügt und eng mit einem zentralen Verzeichnisdienst gekoppelt ist, etabliert worden. Dazu ist eine Fileserver-Konfiguration implementiert, die auf Network Attached Storage aufbaut.

Seit 2004 besteht eine Kooperation zwischen der Bayerischen Staatsbibliothek (BSB) und dem LRZ, die inzwischen durch drei DFG-geförderte Projekte (BABS, BABS2 und vd16digital), die BSB-Google Partnerschaft und die Einführung des Langzeitarchivierungsmanagementsystems Rosetta der Firma Ex-Libris an der BSB ausgeweitet wurde. Dabei tritt das LRZ für die BSB als Dienstleister für die Langzeitarchivierung, das Bereitstellen von Onlinespeicher, das Attended Housing von Clusterknoten und Hosting von virtuellen Servern auf. Bisher wurden von der BSB mehr als 1,2 Milliarden Objekte mit einem Datenvolumen von mehr als 500 TB am LRZ archiviert.

Im Jahr 2015 wird das LRZ eine Sync&Share-Lösung auf Basis der Software *Powerfolder* produktivführen, die den organisationsübergreifenden Austausch von Dateien, z. B. im Rahmen von Forschungsprojekten, noch besser unterstützen soll; auf diesen Dienst können auch externe Nutzer, mit denen Dateien geteilt werden sollen, zugreifen. Mittelfristig soll der Dienst auch weiteren Hochschuleinrichtungen in Bayern zur Verfügung gestellt werden.

3.2.3 Verzeichnisdienste

Beide Münchner Universitäten betreiben bereits seit einigen Jahren LDAP-basierte Verzeichnisdienste, mit denen die Verwaltung der Benutzer der Hochschulportale CampusLMU bzw. TUMonline und der damit integrierten Dienste erfolgt.

Im Rahmen des Projekts LRZ-SIM (Secure Identity Management) wurde 2008 die in die Jahre gekommene zentrale Benutzerverwaltung des LRZ durch eine Migration auf aktuelle LDAP-Technik vollständig erneuert. Durch die seither weiterentwickelte direkte Kopplung mit den Verzeichnisdienstsystemen der beiden Universitäten werden die Datenerfassungs- und Verwaltungsprozesse wesentlich vereinfacht und somit die Qualität sowohl der verarbeiteten Daten als auch der darauf basierenden Dienste deutlich verbessert.

Im Rahmen der beiden Projekte IntegraTUM und LRZ-SIM wurde darüber hinaus der Betrieb eines MWN-weiten Verzeichnisdienstes auf Basis von Microsoft Active Directory pilotiert, um hochschulweite Systemadministrationskonzepte für die Plattform Microsoft Windows umzusetzen, Groupware-Lösungen wie Microsoft Exchange und Sharepoint Server anbieten zu können und die zentrale, NAS-File-basierte Speicherlösung zu unterstützen; seit 2009 befindet sich dieser Dienst im Produktivbetrieb.

Ferner betreibt das LRZ seit 2007 die zur Teilnahme an der vom Deutschen Forschungsnetz (DFN) betriebenen deutschlandweiten Authentifizierungs- und Autorisierungsinfrastruktur (DFN-AAI) notwendigen Komponenten für die beiden Münchner Universitäten; die auf der Software Shibboleth basierende Infrastruktur ermöglicht eine hochschulübergreifende Dienstenutzung, die bereits in den Bereichen E-Learning, Verteilung lizenzierter Software und im Umfeld elektronischer Bibliotheksangebote mit kontinuierlich steigenden Nutzerzahlen sehr erfolgreich eingesetzt wird.

3.2.4 Managed Hosting für Hochschulstart

Die am LRZ für die Stiftung für Hochschulzulassung als Managed Hosting betriebene Plattform für das so genannte *Dialogorientierte Serviceverfahren* befindet sich seit 2010 im Wirkbetrieb. Über die Plattform wird deutschlandweit die Studienplatzvergabe koordiniert.

Der Dienst inklusive seiner webbasierten Schnittstellen zu den Endanwendern und den Verwaltungen der teilnehmenden Hochschulen und Universitäten wird aufgrund der Sensibilität der verarbeiteten personenbezogenen Daten auf dedizierten Servern betrieben, nutzt jedoch weite Teile der Netzinfrastruktur des LRZ mit, u. a. Service Load Balancer und Firewalls. Die Verfügbarkeit des Dienstes ist über mehrere Wochen jedes Jahres, die mit wichtigen Phasen der Bewerbungs- und Zuteilungsverfahren korrespondieren, kritisch, woraus sich einige so genannte *Frozen Zones* ergeben, in denen außer dringenden Security-Patches keine Konfigurationsänderungen an unmittelbar relevanten Netzkomponenten durchgeführt werden. Zudem stellt in dieser Zeit eine Rufbereitschaft rund um die Uhr sicher, dass auf mögliche Störungen unmittelbar reagiert wird.

3.3 Dienstqualität

Wichtigstes Ziel ist die möglichst hohe Verfügbarkeit des Netzes und der Dienste, besonders der Basisdienste DHCP, DNS, E-Mail, LDAP, Storage und WWW. Das soll vor allem durch redundante Auslegung von wichtigen Teilen der aktiven Komponenten im Backbone und im Rechenzentrumsnetz des LRZ sowie durch Steigerung der Qualität des Netzmanagements (z.B. Einsatz von Monitoring-, Steuerungs- und Reportingwerkzeugen) erreicht werden. Operateurbetrieb für die zentralen Systeme und Komponenten besteht durchgängig in drei Schichten. Damit bezüglich des Datenverkehrs keine Engpässe entstehen, ist beim Ausbau auf ein ausgewogenes Verhältnis von Primär-, Sekundär- und Tertiärnetz in Bezug auf Bandbreiten und Auslegung der aktiven Komponenten zu achten. Um dieses Ziel zu erreichen, werden proaktiv die Anschlussleitungen der Institute sowie die Leitungen im Backbone auf ihre Auslastung überwacht. Übersteigt die durchschnittliche Auslastung eines Interfaces tagsüber mehrfach die Marke von 30% im Mittelwert für 15 Minuten, so werden entsprechende Schritte für eine Hochrüstung der Bandbreite eingeleitet. Dieser Grenzwert hat sich im Rahmen der steigenden Nutzung von zeitkritischen Multimediaanwendungen (Videokonferenzen und Vorlesungsübertragungen) als signifikant erwiesen. Nur unterhalb dieses Werts ist eine qualitativ hochwertige, zeitkritische Multimediaanwendung i. A. möglich. Damit müssen die weitergehenden Kriterien für Class of Service (CoS, Paketverluste, Verzögerung, Jitter) im lokalen Netz nicht zusätzlich betrachtet werden.

4 Netzstruktur

Nachfolgend werden der aktuelle Stand der Netzstruktur, die fortlaufende Entwicklung und die strategischen Netztechnologien vorgestellt.

4.1 Aktueller Stand

Das MWN verbindet die einzelnen (Sub-)Netze der Hochschuleinrichtungen an den verschiedenen Standorten. Zur Anbindung der einzelnen Standorte sind langfristig (jeweils für 5–10 Jahre) Dark-Fibre-Leitungen (Monomode-Lichtwellenleiter mit exklusiver Nutzung

durch das LRZ) von der Telekom und vom Münchner Provider M-net angemietet. Derzeit werden 40 Leitungen von der Telekom, 37 von M-net sowie eine von Gasline zum Aufbau des Backbonenetzes genutzt. Das damit geschaffene Backbonenetz hatte seit dem Umzug des LRZ nach Garching 2006 die Hauptknotenpunkte LRZ, LMU-Stammgelände, Campus Großhadern und TUM-Nordgelände, an denen sternförmig alle Leitungen zu den externen Standorten angeschlossen sind. Zudem wurde 2012 eine redundante Anbindung des Campus Weihenstephan und der Hochschule München realisiert. Netze mit einer geringeren Anzahl von Endgeräten werden mit SDSL-Verbindungen (bis zu 25 Mbit/s für Institute und Studentenwohnheime) von M-net, Fibre-DSL von M-net (10–25 Mbit/s) oder WLAN-Verbindungen an die Backbone-Router angeschlossen.

Redundante Leitungen sind derzeit aus Kostengründen nur für den Backbone realisiert, d. h. bei einem Ausfall einer Leitung im Backbone kommt es zu keinen Einbußen bei der Konnektivität. Allerdings führt ein Ausfall einer Leitung von einem Hauptknoten des Backbone zu einem externen Standort dazu, dass der gesamte Standort keine Konnektivität zum Rest des MWN besitzt. Ferner ist die Anbindung des MWN an das Internet seit Anfang 2003 redundant ausgelegt (X-WiN Anschluss und Backup über M-net, siehe Abbildung 6).

An den externen Campus-Standorten sind die anzubindenden Gebäude in der Regel ebenfalls sternförmig gemäß EN 50173 mittels in eigener Regie verlegter Glasfaserkabel an einen zentralen Standortverteiler angebunden. Hierzu wurden in der Vergangenheit anfänglich Mischkabel mit mindestens 8 Fasern Multimode-LWL (Lichtwellenleiter) und 4 Fasern Monomode-LWL verlegt. Dann wurde die Anzahl der Fasern auf 16 Multimode und 8 Monomode danach auf 12 Multimode und 12 Monomode erhöht. Die Bedeutung von Multimode nimmt insbesondere bei der Anbindung von Gebäuden immer mehr ab, da die damit erreichbaren Bandbreiten stark beschränkt sind. Deshalb haben wir uns 2014 dazu entschieden künftig Gebäude nur noch mit 12 bzw. 24 Fasern Monomode anzubinden. Zum Teil müssen in Zukunft Monomode-Strecken nachgerüstet werden, um Gebäude mit ausreichender Bandbreite versorgen zu können. Eine Redundanz der Anbindung (Faser), d. h. eine teilweise Vermaschung einzelner Gebäude ist hier technisch möglich, wird derzeit aber betrieblich nicht genutzt.

Bei der gebäudeinternen Verkabelung gibt es immer noch einige Defizite in der Realisierung einer flächendeckenden, strukturierten Verkabelung. Aus finanziellen Gründen wurde in den 90er Jahren in Altbauten eine unstrukturierte Yellow-Cable-Verkabelung (Ethernet, 10Base5) realisiert. In der Regel wurde hierzu jeweils pro Stockwerk ein Segment gelegt, so dass eine Flächendeckung erreicht werden konnte, indem ein Transceiver in jeder anzuschließenden Räumlichkeit gesetzt wurde. In Neubauten wurde im Gegensatz dazu strukturiert gemäß EN 50173 verkabelt.

Durch die Phase II des bayerischen Netz-Investitions-Programms (NIP II) sind an der gesamten LMU und im Campus Weihenstephan die bisher mit Koax versorgten Gebäude mit einer strukturierten Verkabelung versehen worden. Für die TUM in München und Garching wurden nach einer langen Wartezeit ein Teil der Mittel, für die bereits im Juli 2002 der entsprechende Antrag von der DFG positiv begutachtet wurde, im Jahr 2007 zugeteilt. Für das Jahr 2009 wurden weitere Mittel beim Ministerium angefordert, um die Koaxkabel endgültig zu ersetzen. Bei der Umsetzung kommt es bei drei kleineren Gebäuden der TUM jedoch immer noch zu Verzögerungen, da auf deren Generalsanierung gewartet wird bzw. deren zukünftige Nutzung noch nicht geklärt ist. Zudem sind in einigen Gebäuden nur Vierdraht-Leitungen im Einsatz, die ebenfalls zu ersetzen sind. Diese Probleme sollen für die LMU über NIP V in den Jahren 2015 und 2016 gelöst werden.

Die Verkabelungsstruktur des MWN ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt.

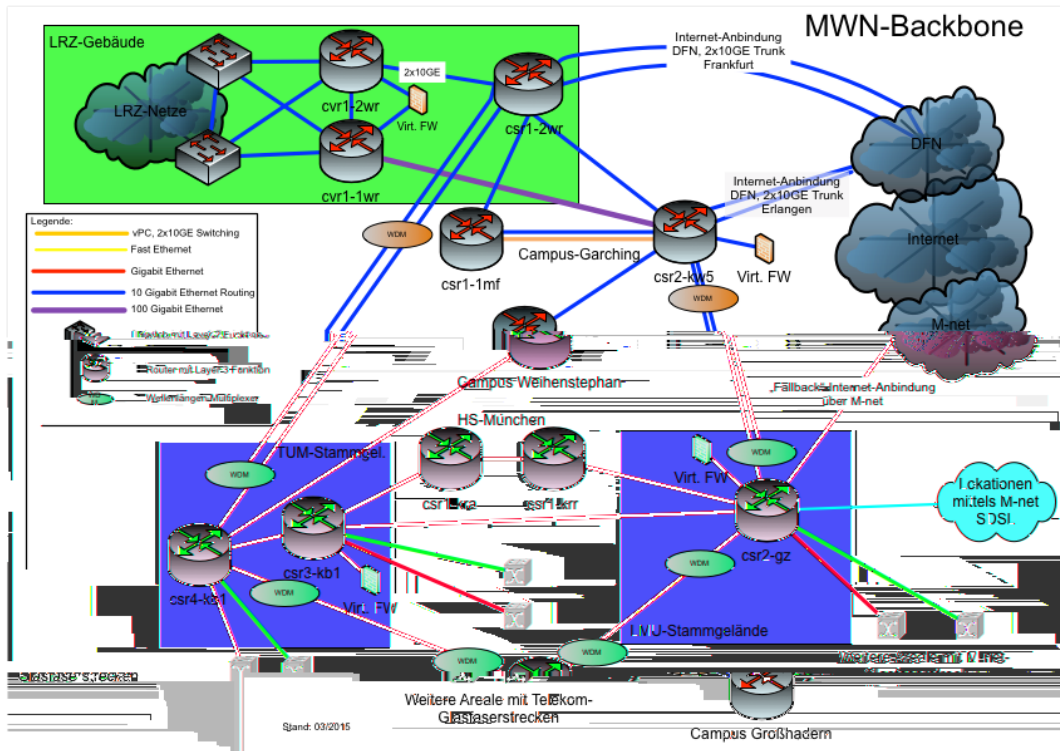


Abbildung 6: BackboneNetz des MWN

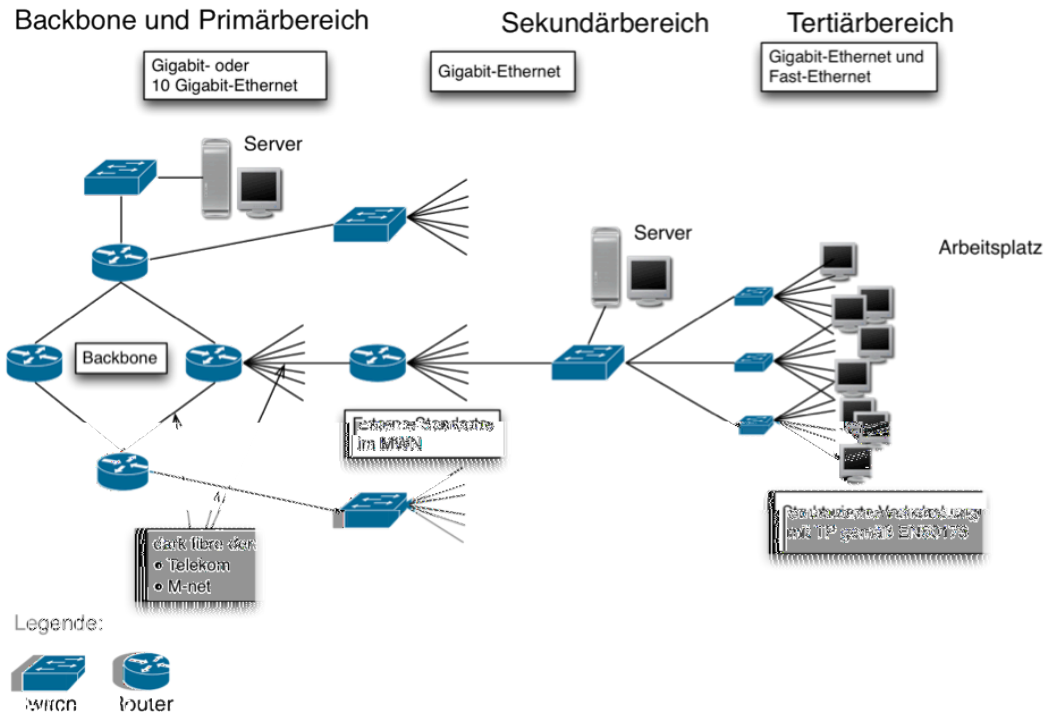


Abbildung 7: Schematische Verkabelungsstruktur

4.1.1 Netzstrukturierung und Komponenten

Auf der vorgenannten Infrastruktur wird das MWN betrieben. Es besteht im Wesentlichen aus einem Backbonenetz, an das über Router die einzelnen Areal- bzw. Gebäudenetze an den verschiedenen Standorten angeschlossen sind. Die Router sind untereinander derzeit im Allgemeinen mit 10 bzw. mehrfach 10 Gigabit-Ethernet verbunden; auf dem Campus Garching wurde eine erste 100 Gigabit-Strecke in Betrieb genommen, die das LRZ mit dem Backbone-Knoten inkl. X-WiN-Uplink im Gebäude der TUM-Fakultät für Maschinenwesen verbindet. Die Anschlussbandbreite an das Backbone des MWN richtet sich nach dem transferierten Datenvolumen und der Größe des jeweiligen Standortes (Anzahl angeschlossener Endgeräte). Diese wird aufgrund der Auslastungsdaten des Netzmanagementsystems sowie in Absprache mit den Nutzern bei Bedarf der jeweiligen Gegebenheit (Bandbreitenbedarf) angepasst.

An den Routern sind die einzelnen Instituts- bzw. Gebäude-LANs angebunden. Derzeit sind gebäudeseitig etwa 350 lokale Routerinterfaces konfiguriert. Abhängig von der verfügbaren Verkabelungsinfrastruktur wird mittels Switches i. d. R. ein komplett geschwitchtes Netz bis zum Endgerät mit einer Anschlussgeschwindigkeit von typischerweise 1 Gbit/s, bei Server-Anbindungen häufig bereits 10 Gbit/s realisiert.

Zu diesem Zweck sind aktuell im Einsatz:

- 14 Router Cisco Nexus C7010
- 1.480 LAN-Switches der Firma HP mit insgesamt ca. 57.000 aktivierten Ports.
- 1.700 WLAN-Accesspoints der Firma HP und 1.100 WLAN-Accesspoints der Firma Alcatel-Lucent (Aruba)

Aus Support-Gründen (Management, Konfiguration, Logistik) werden im MWN für die jeweiligen Aufgaben nur Produkte weniger Hersteller und wenige verschiedene Gerätetypen eingesetzt.

An den Hauptknotenpunkten sind Router vom Typ Cisco Nexus C7010 installiert, die die Verbindung zu den einzelnen Standorten des MWN realisieren. Größere Standorte werden mit 10 Gigabit Ethernet angebunden. Aufgrund des Datenaufkommens kann dies dem aktuellen Bedarf kurzfristig angepasst werden (z. B. mittels Port-Trunking durch Nutzung redundanter Glasfasern bzw. Einsatz von WDM-Systemen).

Bei den größeren Arealen werden zur Anbindung ebenfalls Router dieses Typs eingesetzt. Die Geräte unterstützen alle gängigen Medien und Technologien und verfügen über 10 Gigabit-Ethernet- (Backbone und dedizierte Server-Cluster), Gigabit-Ethernet- und Fast-Ethernet-Schnittstellen (letztere sollen mittelfristig entfallen).

Zum Einsatz im Gebäudebereich kommen derzeit standardmäßig Switches der Firma Hewlett-Packard (HP) vom Typ ProCurve 5400 (auch mit 10 GE-Interfaces). Diese Geräte unterstützen Ethernet-, Fast-Ethernet- und Gigabit-Ethernet-Infrastrukturen.

4.1.2 Internetzugang und Redundanz

Die Anbindung des MWN an das Internet ist seit Anfang 2003 redundant ausgelegt (X-WiN-Anschlüsse und Backup-Leitung über M-net, s. Abbildung 8). Die Anbindung ans X-WiN

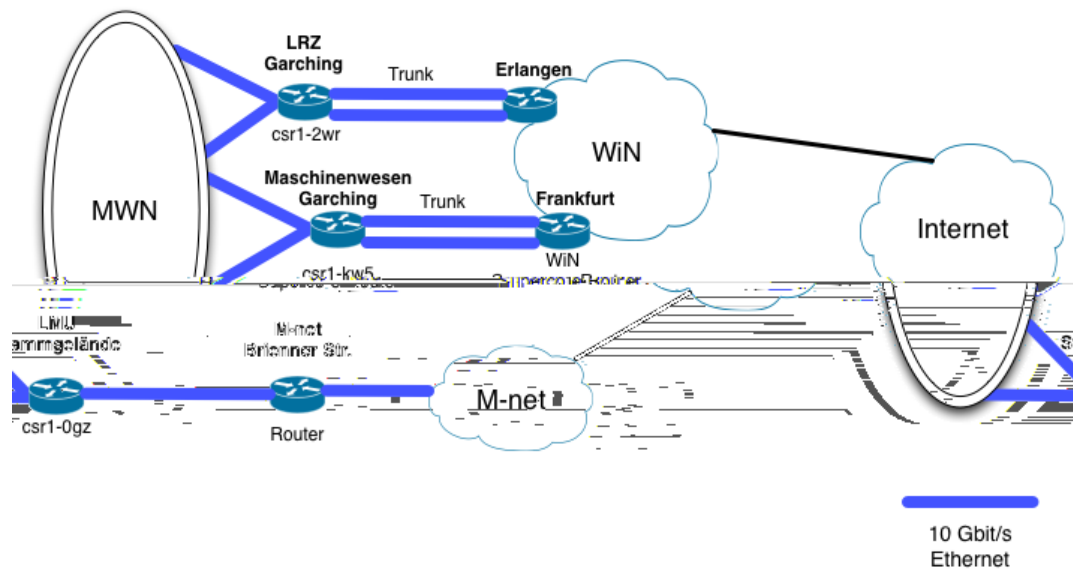


Abbildung 8: Redundante Internet-Anbindung über X-WiN und M-net

erfolgt über zwei unabhängige Trunks mit je $2 \cdot 10$ Gbit/s an die Kernnetzknotten in Frankfurt und Erlangen. Auf MWN-Seite sind dazu zwei unabhängige Router im LRZ sowie im Gebäude des Maschinenwesens im Einsatz. Zusätzlich dazu gibt es eine 10 Gbit/s Anbindung an M-net um auch Ausfälle im X-WiN oder Routing-Probleme abfangen zu können.

Das Backbone hat eine vermaschte Struktur aus mehreren Ringen (vgl. Abbildung 6). Die zur Anbindung notwendigen Router sind größtenteils doppelt vorhanden. Durch die direkte Verbindung dieser Eckpunkte (Primärnetzknotten) wird somit eine Redundanz im Backbone-Netz des MWN erreicht. Im Rechenzentrum selbst sind alle kritischen Netzkomponenten mindestens doppelt vorhanden und auf zwei verschiedene Brandabschnitte verteilt. Damit bleibt selbst bei einem massiven Problem auf Basis der Gebäudeinfrastruktur die Netzkonnektivität über den zweiten Standort erhalten. Dieses Prinzip wird derzeit auch auf erste Campus-Bereiche ausgedehnt. So wurde der zentrale Campus-Router am Campus Garching auf zwei Geräte aufgeteilt, die mittels Virtual Path Channel (VPC) verbunden sind. Diese beiden Geräte sind auf zwei Gebäude (Maschinenwesen, Katalysezentrum) aufgeteilt. Damit ist auch hier eine deutlich höhere Sicherheit gegenüber Gebäudeausfällen gegeben sowie die grundsätzliche Möglichkeit geschaffen, Gebäudeswitches redundant an das Router-Paar anzubinden. Außerdem wurden die Faserwege aus der Innenstadt (von der TUM bzw. LMU) am Campus Garching konsequent auf verschiedene Trassen verteilt, um auch bei Problemen in den Kabelwegen nicht beide Anbindungen in die Innenstadt zu gefährden.

4.1.3 WDM-Systeme

Die dem MWN zugrunde liegende Glasfaserinfrastruktur dient sowohl zur Kopplung der Ethernet-Infrastrukturen (wissenschaftliches Produktionsnetz) als auch zum Tunneln der Verbindungen zur Max-Planck-Gesellschaft. Die Max-Planck-Institute in Martinsried betreiben hochauflösende Rasterelektronenmikroskope, deren Daten vollständig ins Rechenzentrum der Max-Planck-Gesellschaft in Garching übertragen werden. Auf dem dortigen Hochleistungsrechner werden aus den Daten dreidimensionale Bilder berechnet. Um die Daten-

menge in angemessener Zeit übertragen zu können, sind dedizierte Verbindungen mit 100 Gbit/s und eine entsprechende Ausfallsicherheit bzw. Redundanz erforderlich.

Aus diesem Grund wurden 2014 / 2015 Wellenlängenmultiplex-Systeme (DWDM) im Backbone aufgebaut und der zentrale Netzknoten am Campus Garching aufgeteilt, um die Ausfallsicherheit auch bei Schäden am Gebäude, zu erhöhen (vgl. Abbildung 6).

Derzeit werden WDM-Systeme von der Firma ADVA (FSP 3000 R7) im MWN auf den folgenden Strecken eingesetzt:

- Campus Garching; TUM-Katalysezentrum — TUM-Nordgelände (1x100 Gigabit Ethernet; 2*10 Gigabit-Ethernet)
- TUM-Nordgelände — Campus Großhadern (1 * 100 Gbit-Ethernet, 1*10 Gigabit-Ethernet)
- Campus Großhadern — LMU Stammgelände (2*10-Gigabit-Ethernet)
- LMU-Stammgelände — Campus Garching; Maschinenwesen (2*10 Gigabit-Ethernet)

Die Institute in Martinsried sind mit wegeredundanten LWL-Strecken an je einem der beiden WDM-Systeme angebunden. Derzeit ist nur eine 100 Gbit/s Strecke, auf dem linken Ast über das TUM-Stammgelände, realisiert. Bei einem Ausfall kann die redundante Strecke auf dem rechten Ast, mit der reduzierten Bandbreite von 10 Gbit/s, genutzt werden. Mittelfristig ist geplant, auch den rechten Ast auf 100 Gbit/s zu heben. In Garching wird das Rechenzentrum der Max-Planck-Gesellschaft (RZG) über wegeredundante LWL-Verbindungen mit den WDM-Systemen im Maschinenwesen und dem Katalysezentrum (KaTUM) verbunden. D. h. selbst bei einem vollständigen Ausfall eines gesamten Gebäudes ist die Konnektivität zwischen RZG und Martinsried gegeben.

Zusätzlich sind Standorte der Hochschule München per WDM an den zentralen Standort in der Lothstraße angebunden. Hierbei kommen jeweils 3-Kanal-Systeme zum Einsatz (Produktionsnetz, TK-Anlage, Verwaltungsnetz).

4.1.4 Zugänge zum MWN von außerhalb

Das LRZ betreibt fünf VPN-Server, die für den gesicherten Zugang ins MWN genutzt werden können. Der VPN-Dienst wird stark genutzt. In der Spitze werden bis zu 4.400 gleichzeitigen Verbindungen bei über 600.000 Sessions pro Monat über die Server abgewickelt. Die Validierung geschieht über einen Verbund von rund 50 RADIUS-Servern, die überwiegend dezentral bei den Instituten betrieben werden.

4.1.5 Zugang zum MWN für mobile Endgeräte; WLAN

Für den Anschluss von mobilen Endgeräten stehen z. Z. im gesamten MWN über 2.750 Access-Points in rund 250 Gebäuden und ca. 350 vorkonfigurierte Datendosen an rund 30 Standorten zur Verfügung.

Der Zugang zum MWN über dieses Angebot ist entweder mit derselben Kennung möglich, mit der die anderen LRZ-Dienste genutzt werden können, oder mit einer institutseigenen Kennung, sofern diese in den RADIUS-Verbund aufgenommen ist. Die Authentifizierung geschieht über VPN-Server (Cisco ASA 5540) bzw. bei eduroam (vgl. Abschnitt 4.2.4) mittels RADIUSserver. Dazu werden die Accesspoints und die vordefinierten Datensteckdosen in

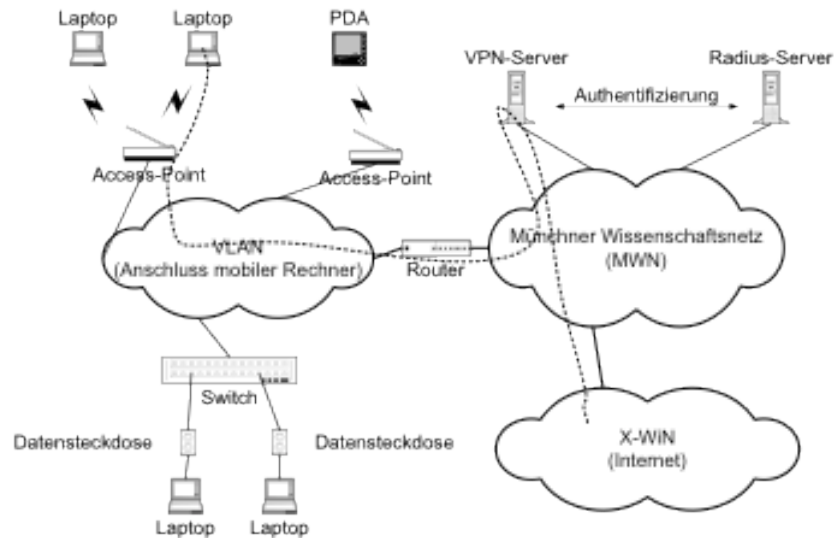


Abbildung 9: Zugang zum MWN über VPN-Server

ein eigenes VLAN eingebunden. Von diesem VLAN gibt es nur einen gesicherten Übergang (VPN-Server) mittels IPsec oder TLS in das MWN.

Dadurch wird sowohl ein Schutz gegen den Missbrauch dieses Netzes erreicht, da der Internet-Anschluss des MWN nicht unbefugt genutzt werden kann, als auch der administrative Aufwand möglichst klein gehalten. Ohne Authentisierung kann keine Kommunikation mit Rechnern im MWN oder im Internet erfolgen. Abbildung 9 zeigt exemplarisch die notwendige Anmeldung und Nutzung mittels des VPN-Servers. Eine weitere Möglichkeit des Zugangs besteht über 802.1x (eduroam, siehe unten).

4.2 Entwicklung der Netzstrukturen

Im Folgenden wird die Entwicklung bei der Verkabelung, bei der Netzstruktur und den eingesetzten Komponenten, bei den Zugängen zum MWN von außerhalb und beim Zugang für mobile Geräte skizziert.

4.2.1 Verkabelung

Mit NIP (Netzinvestitionsprogramm in Bayern) wurde zwar eine flächendeckende Vernetzung erreicht, diese ist jedoch an der TUM in München und Garching noch zu einem kleinen Teil in Koax ausgeführt. Die bis Ende 2009 gesetzte Aufgabe, diese Koax-Verkabelung durch eine strukturierte Verkabelung (Kupfer oder Glas) zu ersetzen, verzögert sich bei einigen wenigen Gebäuden noch durch das Warten auf deren Generalsanierung bzw. die Klärung der zukünftigen Nutzung.

TU-München (ohne Weihenstephan) Im Bereich der TU-München (ohne Weihenstephan) wurde 2009 eine Reihe von Gebäuden im Rahmen von NIP saniert. Im Gebäude des Maschinenwesens auf dem Campus Garching ist die Ersetzung der Koax-Verkabelung Anfang 2015 bereits im Gange.

LMU München Im Bereich der LMU München sind alle Gebäude mit einer strukturierten Verkabelung versehen. Es gab jedoch teilweise Defizite in der Verwendung der installierten Medien (nur vier-drahtiger Anschluss, d. h. Kabelsharing, oder Installation von Kat5-Kabeln). Diese Gebäude (insgesamt 22) werden im Rahmen des 2. Bauabschnittes der NIP V Maßnahme saniert. Stand Anfang 2015 ist, dass die Arbeiten in der LMU-Fakultät für Pharmazie und Chemie bald beginnen werden.

Weihenstephan (TU-München) Am Campus Weihenstephan der TU-München sind alle Gebäude mit einer strukturierten Verkabelung versehen. In allen Bereichen wurden entweder Kupfer (Kat6-Kabel) oder Glas (Multimode) verwendet. Glasfaserkabel wurden verlegt, wo die Kabelwege für den Einsatz von Kupferkabeln zu lang sind, wobei pro Gebäude nur ein Medium im Tertiärbereich zum Einsatz kommt. Hier ist in den nächsten Jahren kein größerer Verkabelungsbedarf innerhalb von Gebäuden sichtbar. Viele Gebäude in Weihenstephan sind nur per Multimode-LWL angebunden. Damit ist eine Anbindung mittels 10 Gbit/s nur über sehr kurze Strecken (maximal 300 m) möglich. Hier besteht kurz- bzw. mittelfristig der dringende Bedarf Monomode-LWL nachzurüsten, damit hohe Übertragungsraten (10 GE oder mehr) realisiert werden können.

4.2.2 Netzstrukturierung und Komponenten

Netzstrukturierung Mit dem Umzug nach Garching wurde der Kern des Backbones leitungs- und komponentenmäßig redundant ausgelegt. Im Backbonebereich sind nun alle Verbindungen mit mindestens 10 Gbit/s realisiert. Im Anschlussbereich sind flächendeckend 1 Gbit/s bzw. teilweise 10 Gbit/s vorhanden. An Funktionalität der Komponenten sind die Unterstützung von VLANs, von Class-of-Service (CoS) und eine Zugangskontrolle gefordert. Mittelfristig wird von einer komponenten- oder gebäudelokalen zu einer netzweiten, leicht managbaren VLAN-Strukturierung übergegangen. Dieser Übergang hängt stark von der Verfügbarkeit eines herstellerübergreifenden zentralen VLAN-Managements ab; beispielsweise ist die Implementierung des Managementprotokolls GVRP bei den eingesetzten HP-Switches auf max. 256 VLANs beschränkt. Eine durchgehende CoS-Unterstützung aller Komponenten kann für die Übertragung zeitkritischer Daten wie Video und Ton wichtig werden. Zugangskontrollen am Netzrand (IEEE 802.1x) werden zu einem wichtigen Sicherheits- und Kontrollinstrument. Der Stabilität und Ausfallsicherheit im Netz muss durch den Einsatz von USVs, redundanten Komponententeilen und (eventuell) doppelter Leitungsführung Rechnung getragen werden.

Flächendeckender Ausbau Bei der Erstplanung wurden aus Kostengründen nur wirklich aktiv benötigte Leitungen beschaltet; auf eine Vollversorgung aller vorhandenen Dosen mit aktiven Komponenten wurde verzichtet. Zurzeit sind etwa 55% der vorhandenen Anschlüsse aktiv geschaltet. Bei einem Umzug oder Neuanschluss muss daher die Verbindung im Patchfeld (entfernt und) neu geschaltet werden. Eine Untersuchung, ob dieses personalaufwändige Änderungsmanagement durch eine (fast) volle Beschaltung aller Anschlüsse erheblich reduziert werden kann, stellte hierfür einen nicht vertretbaren finanziellen Mehraufwand fest. Aktuell wird bei einem Neubezug von Gebäuden (Neubau oder Sanierung) für zukünftige Erweiterungen in den Verteilerräumen ein Überhang von zusätzlich ca. 10% an aktiven Ports vorgehalten.

Flächendeckende Versorgung auf Switching-Basis Die Switch-Infrastruktur realisiert Geschwindigkeiten von 1 bis 10 Gbit/s in Richtung Backbone-Netz, in Richtung Nutzeranschluss 100/1000 Mbit/s autosensing Switched Ethernet Ports, in zahlreichen Fällen aber auch 10 Gigabit-Ethernet (Archivierungssystem, Compute-Cluster, Video-Server). Insbesondere für den Backbone-Bereich wird eine schrittweise Ausrüstung auf 40 bzw. 100 Gbit/s Komponenten konzipiert.

4.2.3 Zugänge zum MWN von außerhalb

Die Zugänge vom häuslichen Arbeitsplatz sowohl für Studenten als auch für Hochschulmitarbeiter z. B. im Rahmen von Telearbeit werden durch die DSL-Angebote der verschiedenen Provider unterstützt. Der Zugang zum MWN erfolgt über VPN-Dienste. Durch geeignete VPN-Server auf IPsec- und TLS-Basis können die häuslichen Arbeitsplätze an das MWN angebunden werden und alle Dienste des lokalen Netzes unter Berücksichtigung der geltenden Zugangsregelungen nutzen. Dazu wird nach dem Aufbau eines gesicherten Tunnels und der Authentifizierung eine MWN-weit gültige IP-Adresse vergeben. Für die von den Universitäten im Rahmen von BayKOM 2010 (Rahmenvertrag des Freistaates Bayern für Mobilfunk und Telefoniedienste) eingesetzten mobilen Geräte (Smartphones, PDAs), welche über Mobilfunk (UMTS, GSM, etc.) ins Netz gehen, wurde ein geregelter Zugang (Corporate Data Access, CDA) zum MWN geschaffen. Basierend auf der eindeutigen Rufnummer des Endgerätes wird eine MWN-weit gültige IP-Adresse zugewiesen, mit der die Nutzung aller MWN-relevanten Dienste möglich ist. Damit sind die Installation eines eigenen VPN-Clients sowie die Validierung nicht notwendig.

4.2.4 WLAN; Zugang zum MWN für mobile Endgeräte

Der Zugang für mobile Endgeräte wird kontinuierlich weiter ausgebaut. Es werden sowohl drahtlose Verbindungen über IEEE 802.11g und 802.11n als auch Kabelgebundene Anschlüsse mit 100 Mbit/s Ethernet-Datendosen (RJ45) angeboten. Alle seit Herbst 2008 installierten Accesspoints unterstützen bereits IEEE 802.11n; auch an vielen Standorten mit hoher WLAN-Nutzung bereits vorhandene Accesspoints wurden bereits gegen IEEE 802.11n-fähige Geräte ausgetauscht. Der Standard 802.11ac wird in einigen Testinstallationen derzeit evaluiert. Künftig werden nur noch APs aufgebaut die 802.11ac unterstützen.

Bei der Größe des zu versorgenden Bereiches ist an eine flächendeckende Versorgung aller Bereiche (auch Büros) mit WLAN weiterhin nicht zu denken. Es können daher nur öffentlich zugängliche Orte (z.B. Hörsaal, Seminarraum, Mensa, Cafeteria, Foyer) mit Accesspoints versehen werden. Eine Vollversorgung all dieser Orte wird angestrebt, dies erfordert allerdings deutlich mehr als 5.000 Access-Points (z. Zt. 2.750). Bei Neuinstallationen wird eng mit den Hochschulen zusammengearbeitet, die federführend bei der Benennung der Örtlichkeiten sind.

Pro Jahr sollen mindestens 300 weitere Accesspoints im MWN installiert werden. Außerdem müssen noch viele veraltete Geräte (802.11g) durch Neuere ersetzt werden. Insbesondere in den letzten fünf Jahren macht sich eine massive Zunahme der Geräte- und Nutzerzahlen im WLAN bemerkbar. Im letzten Wintersemester überstieg die Anzahl der gleichzeitigen Nutzer im WLAN die Grenze von 26.000 deutlich (vgl. Abbildung 10). Es wird erwartet, dass dieses Wachstum noch einige Zeit anhalten wird. Abbildung 11 gibt einen Überblick über die Zunahme der Nutzerzahlen in einem Jahr. Die Nutzerzahlen werden für die Grafik über 24 Stunden gemittelt. Im Rahmen der Initiative Eduroam-off-Campus strahlen auch alle von den Stadtwerken München, für das City-WLAN (M-WLAN) betriebenen Accesspoints seit April 2014 die SSID eduroam aus.

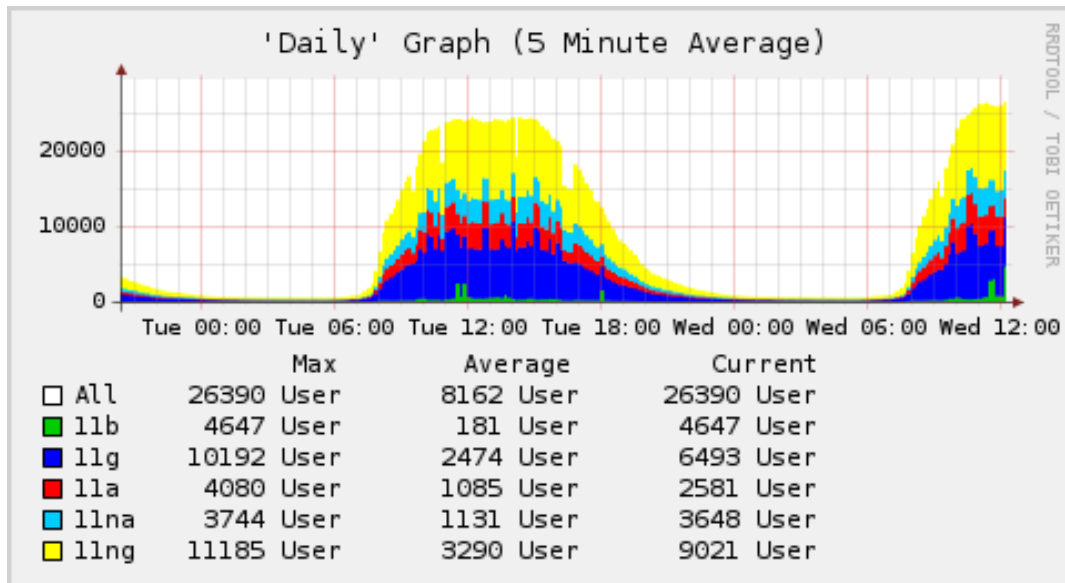


Abbildung 10: Anzahl der gleichzeitigen WLAN-Nutzer im typischen Tagesverlauf

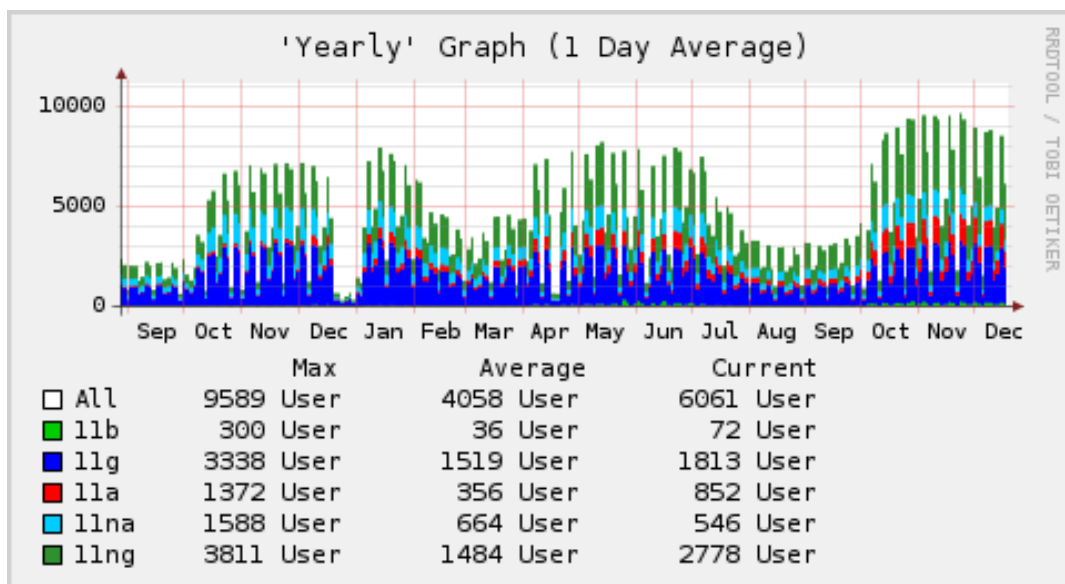


Abbildung 11: Anzahl gleichzeitigen WLAN-Nutzer im Tagesmittel bis Ende 2015

Um die Nutzung der Funknetze für reisende Wissenschaftler auch in fremden Universitäten zu ermöglichen, wurde das weltweit nutzbare Eduroam eingeführt. Die MWN-RADIUS-Serverstruktur wurde hierfür in den zentralen DFN-RADIUS/eduroam-Verbund integriert. Für die Validierung auswärtiger Gäste im MWN-WLAN steht ebenfalls der Zugang über Eduroam zur Verfügung.

Der Zugang zum MWN erfolgt ebenfalls über den erwähnten VPN-Server auf IPsec- oder TLS-Basis. Für Veranstaltungen (Kongresse, Tagungen usw.) mit fremden Teilnehmern wurde die zusätzliche SSID *mwn-events* eingeführt. Benutzer müssen sich dabei analog zum eduroam-Zugang mit Benutzernamen und Passwort authentifizieren; die entsprechenden Informationen erhalten die lokalen Veranstalter nach einer Anmeldung über ein spezielles LRZ-Webportal.

4.3 Netztechnologien

Im Backbone sind die, von verschiedenen Providern gemieteten, Dark-Fibers das begrenzte Element bei der Realisierung höherer Bandbreiten, bzw. für die Einrichtung von kunden- oder dienstspezifischen Kanälen. Aus diesem Grund wurden zu Beginn des Jahres 2015 Dense Wavelength Division Multiplexer (DWDMs) im Backbone integriert (s. Abschnitt 4.1.3). Damit ist es einfach möglich mehrere 1 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s sowie 100 Gbit/s Kanäle über ein Faserpaar zu schalten. Die eingesetzte DWDM-Technologie ermöglicht bis zu 40 Kanäle auf einem Faserpaar zu schalten.

Funknetze werden als ergänzende Technologie angesehen und sind vor allem zur Anbindung von mobilen Rechnern gedacht; eine Ersetzung von festen Kabelstrukturen ist damit nach wie vor nicht zu erreichen und bis auf Weiteres auch nicht vorgesehen, obwohl der Wunsch nach flächendeckender WLAN-Versorgung insbesondere bei Neubauten zunimmt und bei einer Kostenübernahme durch die jeweilige Einrichtung bzw. das Bauamt auch realisiert wird.

5 Netzintegration

Im Folgenden wird skizziert, wie die Telefonie, die Verwaltungsnetze und die Gebäudemanagement-Netze im MWN integriert sind.

5.1 Sprachkommunikation

Eine Integration der Sprach- und Datenkommunikation findet zurzeit bei der Nutzung von Datenleitungen für die Verbindung der TK-Anlagen der TUM (für rund 15 Standorte) und der bei der LMU (Großhadern und Oberschleißheim) über IP statt. Bei der TK-Anlage der Hochschule München (flächendeckend für alle ihre Standorte) werden auf angemieteten LWL-Leitungen mittels WDM-Systemen eigene Kanäle zur Verbindung geschaltet.

Da die TK-Anlagen der TUM und LMU relativ neu sind, ist eine allgemeine Zusammenführung von Sprache und Daten in einem einheitlichen IP-Netz (vorerst) nicht geplant. Es ist allerdings vorgesehen, Neubauten mit einer einzigen Verkabelungsstruktur auszustatten und VoIP-Telefone zu betreiben. Die beiden TK-Anlagen der TUM und LMU haben inzwischen integrierte VoIP-Server, die in geringem Umfang bereits VoIP-Telefone bedienen.

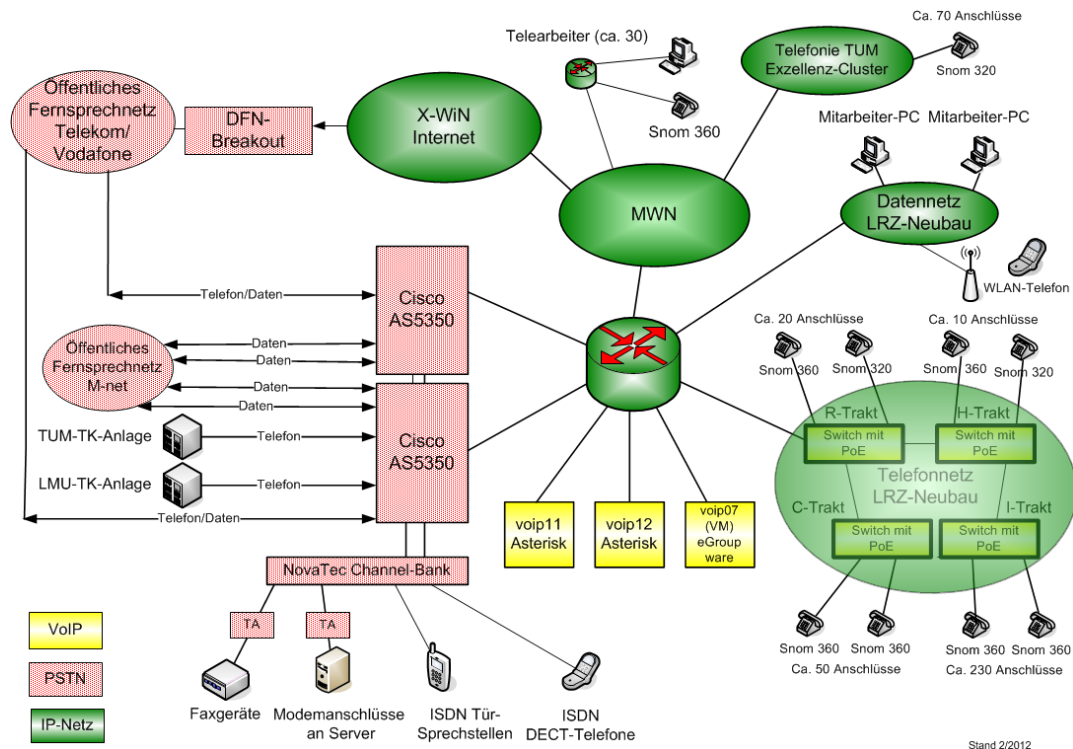


Abbildung 12: VoIP-TK-Anlage am LRZ

Für die Sprachkommunikation am LRZ wurde mit dem Umzug nach Garching eine VoIP-Anlage installiert, die jedoch für die Anbindung der VoIP-Telefone aufgrund der Abhörproblematik über ein eigenes physisches Netz geführt wurde. Mittlerweile werden sowohl Signalisierungs- als auch Sprachdaten verschlüsselt. Abbildung 12 zeigt die Systemarchitektur der LRZ-VoIP-Anlage.

5.2 Verwaltungsnetze

Die Verwaltungsnetze der LMU und TUM bilden in ihrem Stammbereich eigene physische Netze, die über Firewalls vom eigentlichen Hochschulnetz abgetrennt sind. Außenstellen der Verwaltung (z. B. in Weihenstephan oder Garching) werden jedoch mittels VLANs an die eigentlichen Verwaltungsnetze angebunden.

5.3 Facility-Management-Netze

Das MWN wird zurzeit an einigen Standorten bereits für Facility-Management (z. B. Gebäudesteuerung, Zugangskontrolle und Arbeitszeiterfassung) benutzt. Eine Ausweitung vor allem im Bereich der Gebäudesteuerung (Klima, Heizung) ist geplant. Sie ist Bestandteil von Neubauplanungen und erfolgt darüber hinaus bei der Sanierung alter Gebäudetechnik.

6 Verantwortungs- und Zuständigkeitsverteilung

Das LRZ ist als Dienstleister für die Münchner Hochschulen grundsätzlich für Planung, Betrieb und Management des Münchner Wissenschaftsnetzes (MWN) bis zur Datendose im Arbeitsraum zuständig. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit den rund 1.025 Netzverantwortlichen in den Fachbereichen und Instituten der angeschlossenen Einrichtungen. Mit der Einführung von Netzbenutzungsrichtlinien durch das LRZ wurde die bis dahin informelle Zusammenarbeit institutionalisiert und geregelt. Insbesondere wird hierin von Instituten die Benennung von Netzverantwortlichen zwingend gefordert. (Siehe dazu: www.lrz.de/wir/regelwerk/netzbenutzungsrichtlinien/)

Der Netzverantwortliche hat folgende Aufgaben in seinem Zuständigkeitsbereich wahrzunehmen:

- Verwaltung der zugeteilten Namens- und Adressräume
- Führung einer Dokumentation über die ans MWN angeschlossenen Endgeräte bzw. Netze
- Zusammenarbeit mit dem LRZ bei der Planung und Inbetriebnahme von Erweiterungen der Gebäudenetze (neue Anschlusspunkte, neue Netzstrukturen)
- Mitarbeit bei der Fehlerbehebung (z. B. Durchführen von mit dem LRZ abgestimmten Tests zur Fehlereingrenzung)
- Zusammenarbeit mit dem LRZ bei der Eindämmung missbräuchlicher Netznutzung

Um jeweils aktuelle Daten der Netzverantwortlichen in den Instituten zur Verfügung zu haben, hat sich eine jährliche Überprüfung bewährt. Die Aktualität ist zwingend erforderlich, da Informationen zu Netzwartungen, Hinweise zum Netzmissbrauch usw. per E-Mail an diese Personengruppe geschickt werden. Als Gegenpart im LRZ steht der Servicedesk zur Verfügung, der Service Requests und Störungsmeldungen an die entsprechenden Teams im Netzbetrieb weitergibt.

Falls es gewünscht wird, können einzelne Fakultäten und Institute in Absprache mit dem LRZ mehr oder weniger weitgehende Teilaufgaben der Netzadministration auch selbständig wahrnehmen. Derzeit ist dies lediglich für die Netze der medizinischen Fakultäten (TUM und LMU), der Informatik der TUM und der Hochschule München der Fall. Hier sind eigene Betriebsgruppen vorhanden, die aber mit dem LRZ zusammenarbeiten.

Die medizinischen Fakultäten planen, bauen und betreiben ihre internen Netze (Patienten-Netz und Wissenschaftsnetz) selbständig. Die Übergänge aus den Netzen der medizinischen Fakultäten in das MWN und darüber hinaus ins Internet (X-WiN oder M-net) werden vom LRZ betrieben.

6.1 Planung

An der Planung der Netzinfrastruktur des MWN sind neben den zuständigen Bauämtern (Staatliches Bauamt München 2, Staatliches Bauamt Freising, ...) die Verwaltungsinstanzen der beteiligten Institutionen, die Fachbereiche und Institute der Hochschulen in der Form von sog. DV-Beauftragten und, federführend, das Leibniz-Rechenzentrum beteiligt. In Zusammenarbeit mit den einzelnen Instanzen der Hochschulen (Verwaltung, CIOs und DV-Beauftragte der Fakultäten, Netzverantwortliche usw.) sowie der späteren Nutzer ermittelt

das LRZ den Bedarf und entwickelt eine Planung für die mittelfristige Entwicklung in qualitativer und quantitativer Hinsicht unter besonderer Berücksichtigung der Nutzung innovativer Netztechniken.

Diese Planung ist Grundlage für die Umsetzung in konkrete Anträge, Bau- und Beschaffungsmaßnahmen, für die insbesondere auch die Verwaltungen und Bauämter im Rahmen ihrer Zuständigkeiten Verantwortung tragen. Durch geeignete Abstimmungsprozesse wird sichergestellt, dass die Intentionen der Planung tatsächlich umgesetzt werden.

6.2 Betrieb

Die grundsätzliche Zuständigkeit für den Betrieb des MWN liegt beim LRZ. Soweit im Einzelfall andere Regelungen vereinbart sind, wird im Folgenden darauf eingegangen.

6.2.1 Verkabelungsinfrastruktur

Zur Verkabelungsinfrastruktur gehören Kabelwege, Verteilerräume, Primär-, Sekundär-, Tertiärverkabelung und Funkstrecken. Die technischen Betriebsinstanzen der am MWN angeschlossenen Institutionen sind zuständig für die Bereitstellung und den Betrieb von Kabelwegen und Verteilerräumen. Alle Messungen, sofern diese nicht Bestandteil der Ersterstellung sind, die Beschaltung der Verteilerschränke samt zugehöriger Dokumentation und die Beseitigung von Störungen obliegen dem LRZ.

6.2.2 Netzkomponenten

Zu den Netzkomponenten gehören Switches, Router, Access Points, WDMs, Medienkonverter usw. Die Konfiguration, die Überwachung und die Beseitigung von Störungen sind grundsätzlich Aufgabe des LRZ. Die Netzkomponenten sind in den Verteilerräumen untergebracht. Sofern sie zum Betrieb lokaler, fachbereichseigener Infrastrukturen dienen (CIP und WAP-Cluster), können sie auch in den Räumen der Fachbereiche aufgestellt und von diesen betreut werden. In der Informatik der TUM, zu deren Forschungsaufgaben auch der Betrieb von Netzen zählt, werden Subnetze selbständig betrieben, die sich über mehrere Etagen und sogar über ganze Gebäude erstrecken. Darüber hinaus ist der Betrieb der Intranets der medizinischen Fakultäten (Patienten- und Wissenschaftsnetz) und der Hochschule München komplett in der Hand eigenständiger Betriebsabteilungen.

6.2.3 Netzdienste

Das LRZ betreibt das MWN und zentrale Services für die am MWN angeschlossenen Institutionen. Zur Sicherstellung eines reibungslosen Betriebs geht dies nicht ohne gewisse administrative Vorgaben und Einschränkungen. Diese sind unter www.lrz.de/services/netz/einschraenkung/ festgehalten und werden bei Bedarf fortgeschrieben. Viele der in der Folge aufgelisteten zentralen Netzdienste werden sowohl vom LRZ als auch dezentral in den Instituten und Fachbereichen erbracht. Ähnlich wie auch bei anderen zentralen Netzdiensten (z. B. Mail-, DHCP-, WWW-Server) ist hier derzeit eine Rezentralisierung festzustellen, die sowohl im Sinne des LRZ als auch im Sinne der einzelnen an das MWN angeschlossenen Hochschulen liegt.

6.2.4 Verfügbarkeit der angebotenen zentralen Netzdienste

Die tägliche Arbeit der Mitarbeiter in den Hochschulen hängt mittlerweile essentiell von der Verfügbarkeit zentraler Netzdienste ab. Um Ausfälle zu vermeiden, wurden in den letzten Jahren immer mehr Dienste redundant und ausfallsicher hinter Server-Load-Balancern (SLB) implementiert. Mit dieser Technik lassen sich Dienste auf mehreren unabhängigen Maschinen aufsetzen, zum Nutzer werden sie jedoch quasi transparent unter einer IP-Adresse oder einem DNS-Namen angeboten. Die Last verteilt sich gleichmäßig auf alle Systeme. Im Falle eines Ausfalls eines Teils der Server-Hardware, bei Software-Updates usw. übernehmen die verbleibenden Maschinen die Last bzw. Anfragen; die Verfügbarkeit des Dienstes ist damit gesichert. Folgende Dienste werden redundant und für den Benutzer transparent über SLB angeboten:

- PAC-Server (automatische Proxy-Konfiguration)
- Zugriff auf die elektronischen Zeitschriften der TUM und LMU
- RADIUS-Server
- Öffentliche und interne WWW-Server des LRZ
- Virtuelle WWW-Server und E-Learning-Systeme von Hochschulinstituten
- SSH-Server
- LDAP-Server (Benutzerverwaltung)

Eine andere Möglichkeit, Dienste hochverfügbar zu halten, ist die Installation einer HA- (High Availability)-Lösung. Dabei werden gleich konfigurierte Server miteinander gekoppelt. Mit Hilfe der HA-Software wird der Ausfall einer Anwendung automatisch festgestellt und ihre Übernahme auf einen anderen Server eingeleitet – mit dem Ziel, dass der Benutzer nicht oder nur geringfügig in seinen Arbeiten gestört wird. Folgende Server sind über eine HA-Lösung hochverfügbar:

- DHCP-Server
- Mailserver
- Sicherheits-/NAT-Gateway Secomat

Die Redundanz bei den DNS-Servern ist über IP-Anycast realisiert. Dabei sind jeweils zwei reale Server unter der gleichen IP-Adresse erreichbar.

Zudem werden alle Zugangswege zu den Systemen im Rechnergebäude des LRZ doppelt (Leitungen, Switches, Router) gehalten (vgl. Abbildung 5). Insbesondere sind die wichtigen Server und Höchstleistungsrechner im LRZ-Gebäude über zwei getrennte Router angebunden, welche wiederum an zwei unabhängige Backbone-Router am Campus Garching angebunden sind. Diese beiden Backbone-Router sind mit jeweils einem 2 * 10 Gbit/s Trunk direkt an den Kernnetzknotten des X-WiN in Erlangen und Frankfurt angeschlossen.

Um auch gegenüber Bränden abgesichert zu sein, wurden alle zentralen Netzkomponenten im LRZ im Jahr 2012 auf zwei unterschiedliche Brandabschnitte in zwei unterschiedlichen Stockwerken verteilt (Raum DAR1 im Erweiterungs- und Raum NSR0 im Bestandsbau des LRZ-Rechnergebäudes).

6.2.5 Verwaltung von IP-Adressen

Die Verwaltung einzelner (Teil-)Bereiche ist an die Netzverantwortlichen in den Instituten im Rahmen der von ihnen zu leistenden Tätigkeiten unter Koordination des LRZ delegiert. Neben offiziellen, weltweit gültigen IP-Adressen koordiniert das LRZ im MWN auch die Nutzung von privaten IP-Adressen gemäß RFC 1918. Zum Schutz vor Angriffen, zur Abschottung institutlokaler Infrastrukturen usw. werden bevorzugt private IP-Adressen im MWN vergeben, die auch im MWN geroutet werden und somit die Nutzung zentraler Dienste (Mail, Zugang zu Online-Medien usw.) ermöglichen, die vom LRZ oder anderen Einrichtungen (z.B. Bibliotheken) im MWN angeboten und betrieben werden. Das LRZ empfiehlt, nur für Server, die auch über das Internet erreichbar sein müssen, öffentliche IP-Adressen zu verwenden. Für IPv6, das private IP-Adressen nicht mehr in derselben Form wie IPv4 vorsieht, werden zur Einrichtung privater Subnetze äquivalente Sicherheitsmaßnahmen ergriffen. Für die Adressumsetzung (NAT) bietet das LRZ das System *Secomat* an, das neben der IPv4-Adressumsetzung zugleich auch als IPS (Intrusion Prevention System) eingesetzt wird und damit auffällige Rechner aufgrund ihres Verkehrsverhaltens, wie es z. B. für Botnetze bzw. Malware-Infektionen typisch ist, erkennt.

6.2.6 Betrieb des Domain-Name-Systems (DNS und DNSSEC)

Mit der Verwaltung von IP-Adressen müssen aber nicht unbedingt auch die primären DNS-Dienste für die Teiladressbereiche von den Fachbereichen selbst erbracht werden. Das LRZ bietet als allgemeinen Dienst den Betrieb zentraler DNS-Server an. Er kann aber auch von den Instituten selbst erbracht werden, siehe www.lrz.de/services/netzdienste/dns/. Zudem wird eine web-basierte, mandantenfähige Schnittstelle am zentralen DNS des LRZ (*webdns*) angeboten, mit welcher der Netzverantwortliche des Instituts seine Bereiche selbst konfigurieren kann.

Die DNS-Server stehen wie in Abbildung 13 dargestellt verteilt im LRZ, im Stammgelände der LMU, im Stammgelände der TUM und in Weihenstephan. Die Dienste sind getrennt in den autoritativen Nameservice und den rekursiven Resolverdienst redundant konfiguriert. Durch die Konfiguration über Anycast sind die Dienste auf den verschiedenen Systemen unter jeweils der gleichen IP-Adresse erreichbar.

Über einen Domain-Reseller bietet das LRZ seinen Kunden die Möglichkeit, Second-Level-Domains zu registrieren (siehe Abschnitt 7.1). Die dabei anfallenden Kosten werden den Kunden in Rechnung gestellt.

Der Ausbau des optionalen Sicherheitsmechanismus DNSSEC (Domain Name System Security Extensions), welcher die Korrektheit von im DNS hinterlegten Informationen validierbar macht, wurde deutlich forciert. Alle unsere Resolver validieren nun DNSSEC Signaturen. Nachdem bisher nur einzelne Testdomains mit DNSSEC ausgestattet waren, wurde im Jahr 2014 ein sogenannter DNSSEC-Signing-Proxy in Betrieb genommen. Dieser ist in der Lage, die von den Kunden selbst über ein Web-Interface verwalteten Zonen, transparent mit DNSSEC-Signaturen auszustatten. Die sichere Delegation wurde unter anderem für die Domains *lrz.de*, *tum.de* und *lmu.de* erfolgreich durchgeführt.

Durch DNSSEC werden weitere Schritte zur Absicherung ermöglicht. Beispielsweise wurden Ende 2014 die Zertifikatsinformationen der eingehenden Mailserver (*postrelay/mailrelay*) in der Zone *lrz.de* mit dem Standard TLSA/DANE veröffentlicht. Dadurch können DANE-fähige Absender eine verifizierte TLS-Verbindung mit den LRZ-Servern aufbauen und Man-in-the-Middle-Angriffe verhindern.

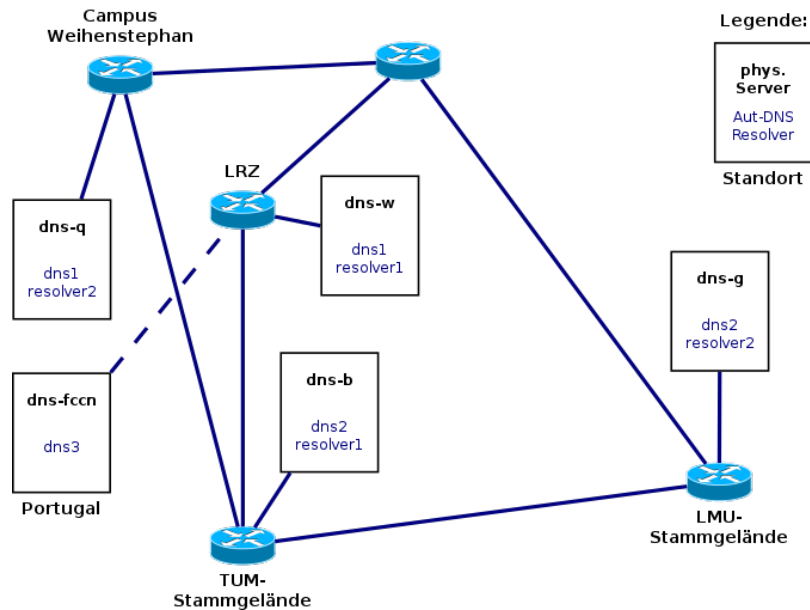


Abbildung 13: Standortübergreifende Verteilung der DNS-Server

6.2.7 DHCP

Das LRZ betreibt einen zentralen DHCP-Dienst für das gesamte MWN. Dieser Service kann auch von den Fachbereichen selbst erbracht werden. Aufgrund häufiger Betriebsprobleme mit falsch konfigurierten institutlokalen DHCP-Servern bietet das LRZ jedoch diesen Service verstärkt auch den einzelnen Instituten an. Er wird in rund 860 Subnetzen mit ca. 170.000 Adressen genutzt. Der Zugang mobiler Endgeräte zum MWN (WLAN und VPN) setzt ebenfalls auf diesem Dienst auf. Der DHCP-Dienst ist IPv6-fähig und mittels eines Failover-Protokolls (HA-Lösung) redundant ausgelegt, so dass selbst im Fehler- bzw. Wartungsfall für die Nutzer kein Ausfall eintritt.

6.2.8 Firewall

Eine einzige zentrale äußere Firewall (zum Wissenschaftsnetz) würde nur einen kleinen Teil der Sicherheitsprobleme der am MWN angeschlossenen Institutionen und Institute lösen. Die Heterogenität der Nutzerschaft und ihre sehr unterschiedlichen Kommunikationsinteressen machen es zudem ausgesprochen schwierig, eine Firewall so zu konfigurieren, dass sie einerseits ihre Schutzfunktion möglichst wirksam ausübt, andererseits aber nicht zu viele sinnvolle Kommunikationsformen verhindert oder erschwert. Es ist deshalb sinnvoll, den Zugriffsschutz möglichst nahe an kleineren Bereichen mit homogeneren Kommunikationsinteressen einzurichten.

Seit Frühjahr 2007 wird den Instituten die Möglichkeit geboten, über mandantenfähige virtuelle Firewalls (eingebaute Blades in den Cisco-Routern) selbst den Schutz zu realisieren. Somit besteht für die Institute die Möglichkeit, eigene Firewalls auf LRZ-Hardware zu betreiben und über das in Abbildung 14 dargestellte Managementfrontend zu verwalten. Inzwischen werden virtuelle FWs für bereits rund 130 Institutionen produktiv betrieben. Da die bislang eingesetzten Firewall-Produkte von Cisco nicht mehr weiterentwickelt wurden, wurde eine neue Produktauswahl durchgeführt; die Modernisierung und vollständige Erneuerung der Firewall-Infrastruktur ist für 2015 geplant.

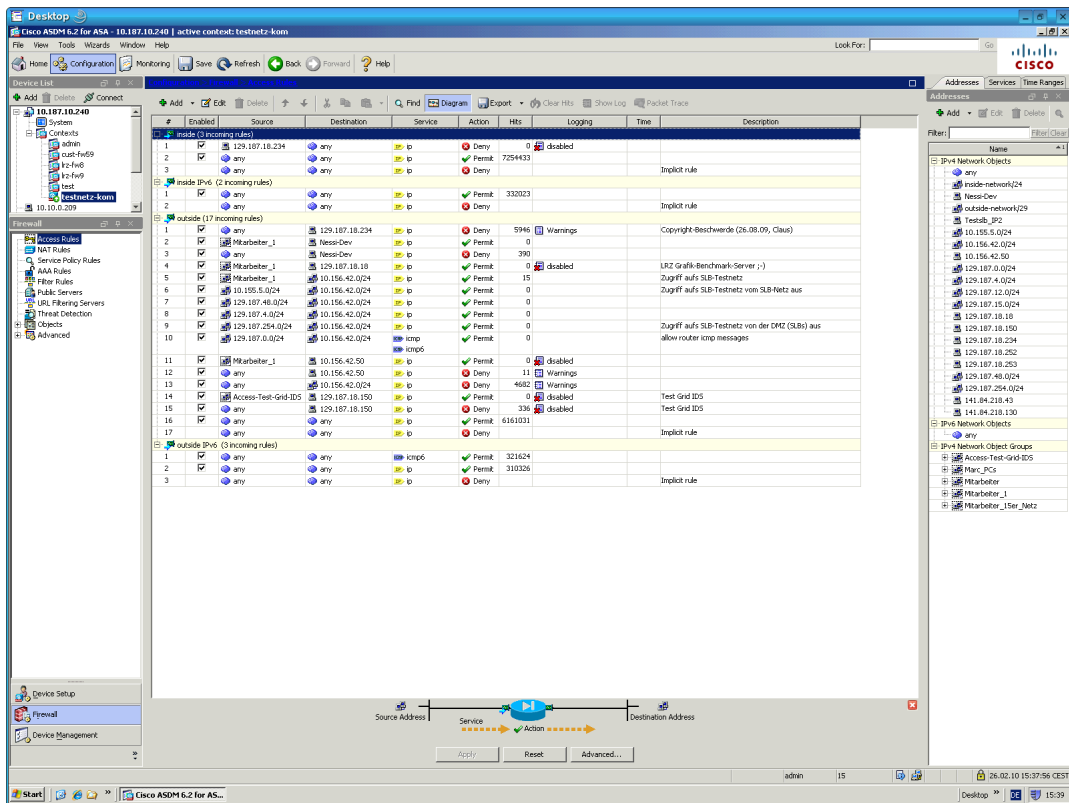


Abbildung 14: Managementoberfläche für die mandantenfähigen, virtuellen Firewalls

6.2.9 Internet-Anschluss

Das MWN ist seit Anfang 2003 redundant an das Internet angebunden. Derzeit stehen zwei 20 Gbit/s-Ethernet-Anschlüsse (gedrosselt auf 11,65 Gbit/s) zum X-WiN (Uplinks nach Erlangen und Frankfurt) und eine 10 Gbit/s Backup-Leitung über M-net zur Verfügung (vgl. Abbildung 8). Um beim Ausfall des primären Internet-Zugangs den Verkehr automatisch umlenken zu können, betreibt das LRZ ein eigenes Autonomes System (AS 12816). Der Betrieb des X-WiN-Anschlusses liegt in der vollen Verantwortung des LRZ. An den Router-interfaces, die den Übergang ins Internet darstellen (X-WiN und M-net), sind einige Filter installiert, die z. B. das IP-Address-Spoofing unterbinden, die Anzahl der von außen erreichbaren Mail- und DNS-Server beschränken und einige Anwendungen mit bestimmten Ports aufgrund damit verbundener häufiger Sicherheitslücken verbieten.

6.2.10 PRACE

Das LRZ ist seit 2005 Mitglied in DEISA (Distributed European Infrastructure for Supercomputer Applications), einem Zusammenschluss von 15 europäischen Supercomputer-Zentren (u. a. FZ Jülich, HLR Stuttgart, MPG Garching, ECMWF, SARA, IDRIS, CINECA). Das DEISA-Projekt endete plangemäß 2011, viele Aufgaben und neue Fragestellungen werden im Rahmen des Projektes *Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE)* fortgesetzt. Innerhalb dieses Konsortiums und des PRACE-Projektes erfolgt eine enge Kopplung der Höchstleistungsrechner zum Zwecke eines Lastausgleichs auf der Basis eines VPNs. Dieses VPN wird über den pan-Europäischen Forschungsnetzverbund GÉANT und die nationalen Forschungsnetze gebildet. Um hier notwendige Dienstgütemerkmale einhalten zu können, ist ein eigener 10 Gigabit-Ethernet Anschluss realisiert.

6.2.11 Multicastdienst

Für eine effiziente Übertragung von Datenströmen, insbesondere Video- und Audiodaten, an mehrere Teilnehmer steht flächendeckend an den kabelgebundenen Standorten im MWN der vom LRZ betriebene Multicast-Dienst zur Verfügung; für WLAN-Verbindungen ist der Multicast-Dienst prinzipbedingt schlecht geeignet und wird nicht angeboten. Er basiert auf den Standardprotokollen IGMPv2 für IPv4 sowie MLDv2 für IPv6 und wird auf Anforderung durch den Netzverantwortlichen freigeschaltet.

Durch die Multicast-fähige Verbindung mit dem X-WiN ist auch ein Multicast-basierter Datenaustausch mit auswärtigen Institutionen möglich.

6.2.12 RADIUS-Server

Um eine einheitliche Authentifizierung der Nutzer beim Zugang zum MWN von öffentlichen Arbeitsplätzen und WLAN-Zugängen sicherzustellen, betreibt das LRZ einen zentralen RADIUS-Server. Bei Bedarf kann die Benutzerverwaltung auch in die einzelnen Institute delegiert werden. Derzeit ist die Verwaltung von ca. 50 der eingerichteten Radius-Zonen an Institute delegiert.

6.2.13 VPN-Server

Durch VPN-Server werden sichere Verbindungen über ein öffentliches, unsicheres Medium ermöglicht. Zu den unsicheren Medien gehören:

- Drahtlose Netzwerke (WLAN)
- Anschlussdosen für mobile Rechner in öffentlich zugänglichen Bereichen des MWN
- Zugang zu Diensten des MWN über das Internet (z.B. Telearbeitsplatz, reisende Wissenschaftler)

Das LRZ betreibt zur Absicherung fünf zentrale VPN-Server, die zu einem Cluster zusammengefasst sind. Als Schnittstelle zwischen VPN-Server und Benutzerverwaltung werden die RADIUS-Server des MWN verwendet. Damit kann auf die AAA-Möglichkeiten (Authentication, Authorization & Accounting) des RADIUS-Dienstes zurückgegriffen werden.

6.2.14 Mail-Server und Mailrelays

Das LRZ betreibt für die Institute des MWN zentrale Mailserver und Mailrelays. Einzelnen Instituten ist jedoch freigestellt, eigene Mailserver zu betreiben. Der Betrieb institutseigener Mailserver bedingt aber Betreuungsaufwand und Fachwissen, welche nicht jedes Institut aufbringen können. Aufgrund mangelnden Systemmanagements (Konfiguration, Einspielen von Sicherheitspatches usw.) wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl von Institutsservern von externen Angreifern zu Spam-Zwecken missbraucht. Deshalb wird nur gut gepflegten, großen und spam-festen Mail-Servern der direkte Empfang von E-Mails erlaubt, die übrigen müssen ihre E-Mails über ausgezeichnete Mailserver (Mailrelays) des LRZ empfangen.

6.2.15 VideoConference (VC)-Dienst und Gatekeeper für das MWN

Das MWN ist am VC-Dienst des DFN beteiligt. Dieser Dienst setzt auf dem H.323-Standard auf und kann im MWN von jedem Nutzer verwendet werden. Um (weltweit) erreichbar zu sein, müssen die Clients an einem Gatekeeper registriert sein. Der Gatekeeper ist für die Auflösung der eindeutigen H.323-Adresse in die zugehörige IP-Adresse zuständig. Das LRZ betreibt zentral für das MWN einen entsprechenden Gatekeeper, der in den nationalen und weltweiten Verbund integriert ist. Das MWN hat die Vorwahl 0049 134 (vergleichbar mit der Vorwahl beim Telefon) zugeteilt bekommen. Die Struktur der Sub-Adressen im MWN orientiert sich an den im MWN genutzten Telefonnummern der angeschlossenen Institutionen.

6.2.16 NTP-Dienst

Mit NTP (Network Time Protocol) können Rechner über das Internet (bzw ein TCP/IP-Netz) mit einer hochgenauen Zeit versorgt werden. Am LRZ werden drei Zeit-Server betrieben, die Servernamen lauten `ntp1.lrz.de`, `ntp2.lrz.de` und `ntp3.lrz.de`. `ntp1` und `ntp3` laufen auf Appliances der Firma Meinberg (Lantime M300/GLN), sie empfangen die Zeit direkt über GPS bzw. DCF77 (Stratum 1). `ntp2` ist durch `ntp`-Daemonen auf den DNS-Servermaschinen realisiert. Diese erhalten die Zeit von `ntp1` oder im Backupfall über externe Server wie den NTP-Server des DFN am X-WiN-Knoten in Garching oder den Server an der PTB Braunschweig.

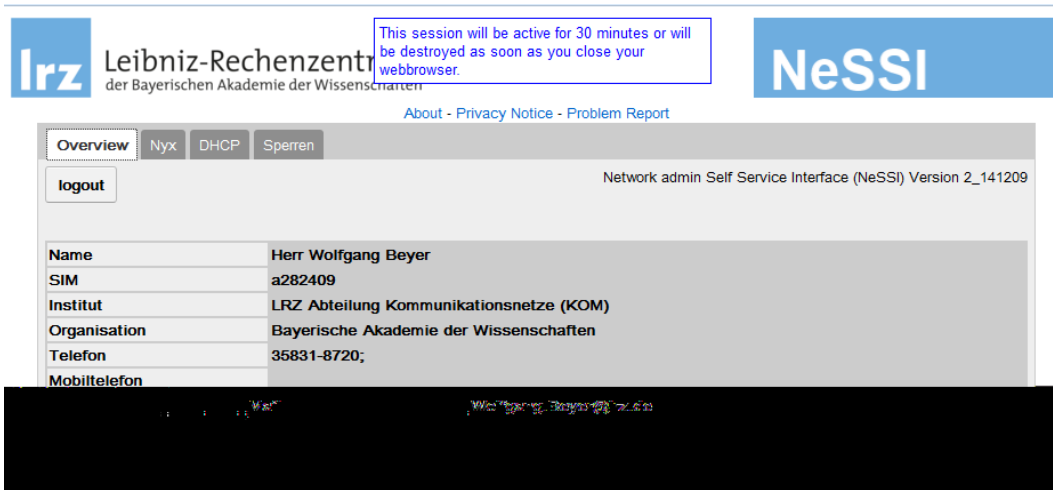


Abbildung 15: Das mandantenfähige Network Self Service Interface NeSSI

6.2.17 Nyx/Nessi

Nyx ist ein Sicherheits- und Netzmanagementwerkzeug, mit dem einzelne Rechner im MWN lokalisiert werden können. Nach Eingabe einer bestimmten MAC- oder IP-Adresse meldet Nyx den Switch, Port und die Dosenbezeichnung, wo der Rechner mit dieser Adresse angeschlossen ist. Zusätzlich wird in Eigenentwicklung eine mandantenfähige Plattform für Netzverantwortliche bereitgestellt. Darüber können Netzverantwortliche auch selbst, wie in Abbildung 15 dargestellt, Nyx-Daten für die von ihnen verwalteten Adressbereiche abfragen.

7 Administration

Nachfolgend werden die Adress- und Namensräume, die das LRZ verwaltet, die Benutzerverwaltung und das Gerätemanagement beschrieben.

7.1 Adress- und Namensräume

Das LRZ betreibt im Zusammenhang mit der redundanten Anbindung an das Internet ein eigenes Autonomes System (AS 12816). Im Rahmen dieses Autonomen Systems werden alle in der nachfolgenden Tabelle in der ersten Spalte markierten IP-Netze geroutet. Bei den anderen IP-Netzen ist dies leider nicht möglich, da sie nicht Provider-unabhängig registriert sind. Im MWN werden derzeit folgende offizielle IP-Adressen (IPv4) benutzt:

- LRZ-IPv4-Netze (für LRZ registriert und vom LRZ verwaltet):

– Class-B-Netze:

Geroutet?	Netz	Zuordnung
X	129.187.0.0	TUM, LMU, BADW, LRZ
X	141.40.0.0	Campus Weihenstephan
X	141.84.0.0	LMU, LRZ
	141.39.240.0–	Hochschule München
	141.39.255.255	

– Class-C-Netze:

Geroutet?	Netz	Zuordnung
X	192.68.211.0	Verschiedene Institute, z. B. Pinakotheken
X	192.68.212.0	Reserve
X	192.68.213.0	Gründerzentrum Garching
X	192.68.214.0	Kultusministerium
X	192.68.215.0	Akademie der Bildenden Künste
X	193.174.96.0– 193.174.99.0	Bayerische Staatsbibliothek
X	194.95.59.0	Bayerische Staatsbibliothek

- LRZ-IPv4-Netze, die außerhalb des MWN liegen und den X-WiN-Anschluss des LRZ nicht verwenden, aber z. B. die Mailserver verwenden dürfen:

– (Max.) Class-C-Netze:

Geroutet?	Netz	Zuordnung
	193.175.201.0/24 194.95.250.56/26 195.37.11.0/26	Triesdorf Limnologische Station Iffeldorf (TU) Versuchsanstalt für Wasserbau in Oberrach (TU)
	195.37.68.0/24 195.37.191.0/28 195.37.210.80/28	Observatorium auf dem Wendelstein (LMU) Schneefernerhaus auf der Zugspitze(LMU) Katholische Stiftungsfachhochschule, Benediktbeuern (KSFH)

- IPv4-Institutsnetze, die über den X-WiN-Anschluss des LRZ geroutet werden:

– Class-B-Netze:

Geroutet?	Netz	Zuordnung
X	131.159.0.0	TUM Informatik
X	138.244.0.0	Patientenversorgungsnetz der LMU-Klinika (Großhadern und Innenstadt)
X	138.245.0.0	Forschungsnetz der LMU-Klinika (Großhadern und Innenstadt)
X	138.246.0.0- 138.246.128.255	Eduroam, Secomat, Externe Nutzer
X	138.246.128.0- 138.146.223.255	Forschungsnetze der LMU Klinika (Großhadern und Innenstadt)
X	138.246.224.0- 138.246.255.255	Eduroam, Secomat, Externe Nutzer
	141.39.128.0- 141.39.191.255	Klinikum Rechts der Isar

– Class-C-Netze:

Geroutet?	Netz	Zuordnung
X	192.44.30.0/23 192.54.42.0 193.175.56.0– 193.175.63.0 193.174.158.0 193.175.56-63.0 195.37.167.0 195.37.7.0	Fraunhofer AISEC Beschleuniger-Labor Garching LMU Klinikum rechts der Isar Kath. Stiftungsfachhochschule Klinikum Rechts der Isar Zoologische Staatssammlung, München PRACE (Europäisches HPC-Projekt)

Das LRZ hat sich im April 2005 durch seine Mitgliedschaft bei RIPE einen eigenen, global providerunabhängigen routebaren IPv6-Block, 2001:4ca0::/32, gesichert. Adressen aus diesem Bereich wurden MWN-flächendeckend ausgerollt. Alle Router und wichtigen Netzdienste wie DNS, NTP, Web-Server, DHCP sind bereits IPv6-fähig und werden auch darüber angeboten. Eine IPv6-Anbindung nach außen ist sowohl über das X-WiN als auch über M-net gegeben.

Derzeit sind für Institutionen aus dem MWN und weitere wissenschaftliche Einrichtungen aus Bayern mehr als 700 Namensräume (Domains) vom LRZ registriert. Die wichtigsten Institutionen und die Anzahl der registrierten Domains sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Institution	Anzahl registrierter Domains
Bayerische Staatsbibliothek	190
Bayerische Akademie der Wissenschaften	18
Haus der Bayerischen Geschichte	3
Hochschule Amberg-Weiden	29
Hochschule Ansbach	4
Hochschule Aschaffenburg	3
Hochschule Coburg	22
Hochschule für Fernsehen und Film	1
Hochschule Ingolstadt	6
Hochschule München	4
Hochschule für Musik und Theater	4
Hochschule für Politik	1
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf	6
Jura-Museum Eichstätt	3
Katholische Universität Eichstätt	3
Klinikum der Universität Regensburg	2
Leibniz-Rechenzentrum	54
Ludwig-Maximilians-Universität München	129
Otto-Friedrich-Universität Bamberg	10
Staatsinstitut für Frühpädagogik	3
Stiftung für Hochschulzulassung	5
Studentenwerk München	47
Universität Bayreuth	1
Universität Regensburg	6
Universität Würzburg	5
Technische Universität München	165
Summe	724

Die Strukturierung der Sub-Domains folgt den Strukturen auf der Ebene der Institute, Lehrstühle und Arbeitsgruppen. Die expliziten Regelungen sind unter www.lrz.de/services/netz/domain/ dokumentiert.

Daneben existieren unter Kenntnis und Genehmigung der zuständigen Stellen weitere Second-Level-Domains, die von einzelnen Instituten, Lehrstühlen und Arbeitsgruppen nicht über das LRZ beantragt und anderweitig gepflegt werden.

Das LRZ hat einen MWN-weiten Active Directory Dienst (ADS, Windows) eingerichtet. Die Namensgebung der ADS-Domänen im MWN und der Subdomänen folgt den Konventionen des DNS-Namensraums.

7.2 Benutzerverwaltung

Für die vom LRZ angebotenen Ressourcen (Zentrale Server, WLAN, öffentliche Arbeitsplätze) ist eine einheitliche Nutzerverwaltung eingerichtet. In den einzelnen Institutionen wie z. B.

der Verwaltung, der Bibliothek und in einigen Fachbereichen existieren eigene, davon unabhängige Nutzerverwaltungen. Sofern diese Nutzer auf Netz-Ressourcen des LRZ wie z. B. WLAN-Zugang oder Zugriff auf öffentliche Netz-Anschlussdosen, kann dies über die von den Instituten selbständig verwalteten RADIUS-Zonen geschehen.

7.3 Geräte

Aufgrund der großen Anzahl angeschlossener Endgeräte, der verteilten Zuständigkeit und der Vielzahl beteiligter Institutionen besteht das LRZ derzeit nicht auf einer expliziten, vorab durchgeführten Anmeldung der ans Datennetz angeschlossenen und anzuschließenden Geräte. Dies ist und wird im Hinblick auf die zunehmende Anzahl mobiler Geräte und zukünftig evtl. auch IP-Telefone immer schwieriger realisierbar. Die entsprechende Dokumentation ist aufgrund der Delegation der IP-Adressverwaltung von den Netzverantwortlichen zu erbringen. Das LRZ hat bei Bedarf Zugriff auf diese Informationen. Lediglich die Information über netzrelevante Geräte (Router, Switches, Firewalls, Server für Netzdienste u. dgl.) — auch diejenigen in der Zuständigkeit der Institute — werden vom LRZ in einer Netzdokumentation gepflegt. Endgeräte werden hiervon explizit ausgenommen. Grund sind der hohe Verwaltungsaufwand und die große Änderungshäufigkeit.

8 Sicherheit

Nachfolgend werden die eingesetzten Schutzmechanismen gegen missbräuchliche Verwendung und Angriffe, für den sicheren Datenverkehr über unsichere Netze, zur Sicherung von Endgeräten und deren Netzzugang sowie zum sicheren Betrieb des Netzes beschrieben.

Seit Mitte 2001 hat die Aktivität der Hacker und der Autoren elektronischer Schädlinge weltweit dramatisch zugenommen und damit leider auch die Anzahl der Abuse-Fälle (d. h. der echten oder vermeintlichen Missbrauchsfälle) im MWN. Nach den Erfahrungen des LRZ hat dies folgende Gründe:

- Durch die zunehmende Kriminalisierung des Internet werden die Tools der Hacker, Viren-Bastler und Spammer inzwischen überwiegend von Profis und (teilweise hoch qualifizierten) Spezialisten entwickelt. Dementsprechend nahm die Qualität dieser Tools kontinuierlich zu.
- Die Zahl der elektronischen Schädlinge (Viren, Würmer, trojanische Pferde usw.) nahm drastisch zu; oft tauchen an einem Tag mehr als 1.000 neue Schädlinge bzw. Varianten/Modifikationen schon existierender Schädlinge auf. Außerdem versuchen die Schädlinge immer intensiver, sich vor einer Entdeckung zu schützen. Als Folge nahm die Erkennungsrate der Viren-Scanner ab.
- Leider ist das Sicherheitsbewusstsein bzw. -verhalten zu vieler Benutzer nach wie vor unzureichend. Diesem setzt das LRZ diverse sicherheitsrelevante Dienste entgegen, wobei klar sein muss, dass die Sicherheitsprobleme nicht alleine durch technische Maßnahmen gelöst werden können.

Genauere Informationen zur Bearbeitung von Missbrauchsfällen finden sich unter www.lrz.de/services/security/abuse/.

8.1 Schutz gegen Missbrauch und Angriffe

Im MWN werden im Zuständigkeitsbereich des LRZ seit langem keine Hubs mehr eingesetzt. Durch den Einsatz von leistungsfähigen Switches sind die Möglichkeiten zur unbefugten Kenntnisnahme von für andere bestimmtem Netzverkehr bis auf den für die verwendeten Protokollwelten unvermeidlichen Broadcastverkehr eingeschränkt worden. Zudem gibt es die Möglichkeit der Bildung von VLANs. Diese werden konfiguriert, um homogene Nutzergruppen zu bilden, die dann zusätzlich durch einen Firewall geschützt werden können, oder um eigene Managementnetze für Netzkomponenten zu bilden. Es sind z. Z. rund 1.200 lokale (bis zum nächsten Router) VLANs für Nutzer, rund 500 lokale VLANs für das Management von Netzkomponenten und rund 20 MWN-weite VLANs für globale Nutzergruppen (z. B. TUM- und LMU-Verwaltung, Gebäudemanagement, Bibliothek, Bauamt) realisiert.

Aufgrund der Ergebnisse, die durch die Einführung einer Monitor-Station am X-WiN-Zugang gewonnen wurden (www.lrz.de/services/security/sec-brief/), setzt das LRZ in Absprache mit den Administratoren in den Instituten Werkzeuge zur Überprüfung der Konfiguration der Rechner in auffälligen Teilnetzen unter Sicherheitsgesichtspunkten ein. Diese Monitorstation (Accounting auf der Basis von Netflows, Intrusion Detection auf der Basis von Suricata) wird derzeit zur Aufdeckung von Missbrauchsfällen wie z. B. Portscans auf Ziele außerhalb des MWN und direkter Mailversand (Spamming) eingesetzt. Diese Aktivitäten sind i. d. R. ein Hinweis auf einen Malware-Befall bzw. auf ein anderweitig kompromittiertes System. Der eingesetzte Mechanismus ist mittlerweile so ausgereift, dass er im Falle des direkten Mailversandes und beim Auftreten von SSH-Scans zu einer automatischen Sperre des betreffenden Rechners am X-WiN-Zugang führt.

Als zusätzliche Maßnahme zur Eingrenzung von missbräuchlicher Nutzung und Erkennung von kompromittierten Rechnern wurde das System Secomat eingeführt. Rechner mit privaten IPv4-Adressen sowie Verbindungen, die über WLAN oder VPN-Server in das MWN aufgebaut werden, müssen (zwangsweise) dieses System nutzen. Dabei werden, falls notwendig, die privaten in öffentliche IP-Adressen umgewandelt (NAT-Funktion) sowie das Kommunikationsverhalten der Rechner untersucht und bewertet. Bei Auffälligkeiten (z. B. hohe Anzahl von versendeten E-Mails, viele Portscans) wird die IP-Adresse des Rechners für eine bestimmte Zeit gesperrt.

In engem Zusammenspiel mit dem Intrusion Detection System Suricata wird eine zentrale Auswertung der Sicherheitsmeldungen auf Basis des Security Information und Event Management (SIEM) Werkzeugs IBM QRadar vorgenommen. Damit können insbesondere auch die Sicherheitsmeldungen von verschiedenen Sensoren mit Schwachstellen auf den jeweiligen System korreliert und entsprechende Informations- und Eskalationswege umgesetzt werden. Zusätzlich wird das LRZ vom DFN-CERT über Sicherheitsvorfälle informiert. Somit wird eine zeitnahe Reaktion sichergestellt.

Das LRZ berät die Systemverwalter der Institute in der Nutzung von Werkzeugen, die es den Endnutzern ermöglichen, die Sicherheit ihrer Rechner selbst zu überprüfen.

8.2 Sicherer Verkehr über unsichere Netze

Wissenschaftler und Studenten äußern immer häufiger den Wunsch, von einem beliebigen Ort aus gesicherten Zugang zu Daten zu erhalten, die auf Rechnern ihrer Arbeitsgruppe im MWN gespeichert sind. Hierzu benötigen sie einen Zugang aus öffentlichen Netzen ins MWN und darüber zum Institutsnetz, dem diese Rechner angehören. Derzeit ist ein Cluster von fünf VPN-Servern im Betrieb, die den Zugang über öffentliche Netze absichern.

8.3 Sicherung der Endgeräte und Zugangskontrollstrategien

Hierbei ist zwischen berechtigten Geräten und berechtigten Nutzern zu unterscheiden.

8.3.1 Berechtigte Geräte

Nur die vom LRZ den Netzverantwortlichen zugewiesenen IP-Adressen dürfen verwendet werden. An den Switches könnte zwar sichergestellt werden, dass nur Geräte mit registrierten MAC-Adressen einen Netzwerkzugang erhalten, dies wird jedoch wegen des hohen Verwaltungsaufwandes derzeit nur in sehr begrenztem Umfang (öffentliche Räume mit freien Netzdosen) durchgeführt. Hierdurch könnte lediglich sichergestellt werden, dass nur berechnete Geräte, nicht aber berechnete Nutzer die Infrastruktur verwenden. Eine rudimentäre Überprüfung der zugewiesenen IP-Adressbereiche geschieht am Übergang in das X-WiN. Hier werden nicht zugewiesene IP-Adressen festgestellt und verfolgt.

8.3.2 Berechnete Nutzer

Mittelfristig soll sichergestellt werden, dass nur authentifizierte Nutzer Zugriff auf Endgeräte und insbesondere Netzdienste erhalten. Eine anonyme Nutzung des Netzes sollte es jetzt bereits nicht geben.

Bei Geräten, die im Institutsbereich stehen und dort lokal verwaltet werden, hat der Netzverantwortliche bzw. der Systemverwalter dafür Sorge zu tragen, dass die Geräte nur von berechtigten Nutzern benutzt werden und für den Fall eines Missbrauchs auch identifizierbar sind. In öffentlichen PC-Räumen ist dies auf Basis der zwingend erforderlichen Nutzerverwaltung mittels Nutzererkennung und Passwort bereits geregelt. Bei der Nutzung von WLAN-Zugängen und beim Zugang über öffentliche Netze, erfolgt eine Authentifizierung der Nutzer über einen RADIUS-Server. Zukünftig sollte mit Verfügbarkeit von Netzkomponenten mit 802.1x-Authentifizierung (realisiert z.B. auf Basis von Radius) auch flächendeckend ein benutzerspezifischer Netzzugang, wie derzeit schon bei WLAN, angestrebt werden. Die vom LRZ aktuell eingesetzte Switch-Generation HP ProCurve unterstützt diese Funktionalität ebenso wie Systeme mit Windows Vista/7/8/8.1, Windows Server, Mac OS X und Linux. Für ältere Versionen von Windows und Mac OS sind kostenpflichtige Clients verfügbar, die jedoch kaum noch gebraucht werden.

8.4 Maßnahmen zum sicheren Betrieb des Netzes

Zur Sicherung des Netzbetriebs werden sowohl physische als auch Management-Software-seitige Maßnahmen ergriffen, die im Folgenden skizziert werden.

8.4.1 Sicherung der Verteilerräume

Durch die Art der Schließung hat nur technisches Personal Zugang zu den Verteilerräumen. Es ist derzeit nicht vorgesehen, diese Zugangskontrolle flächendeckend durch automatische Zugangskontrollsysteme zu verschärfen und zu personalisieren.

8.4.2 Stromversorgung der Verteilerräume, Klimatisierung und Brandschutz

Alle für einen größeren Bereich wichtigen Verteilerräume sind mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) zur Überbrückung kurzer Unterbrechungen versehen. Je nach Relevanz der abzusichernden Komponenten können hierdurch Überbrückungszeiten bis zu zwei Stunden gewährleistet werden. Die Knotenpunkte des MWN-Backbones sind mit leistungsfähigeren USVs ausgestattet, die 24 Stunden überbrücken können; der Eckpunkt W (LRZ Garching) ist an ein durch dynamische USVs und einen Dieselgenerator abgesichertes, unterbrechungsfreies Notstromnetz im LRZ angeschlossen. Mittelfristig muss erreicht werden, dass die entsprechende Versorgung auf alle Verteilerräume ausgedehnt wird. Zudem ist der punktuelle Anschluss an Notstromversorgungen zu realisieren, so dass auch längere Unterbrechungen keinen Schaden anrichten können. Die USVs werden durch das zentrale Netzmanagement überwacht und damit in den Störungsdienst einbezogen. Ein regelmäßiger Test der Funktionsfähigkeit wird im 14-tägigen Abstand von der USV selbst durchgeführt. Zur Verbesserung des Brandschutzes sollen die Verteilerräume mit Rauchmeldern ausgerüstet werden. Hierzu laufen Abstimmungen mit den Hochschulen, die für die jeweiligen Verteilerräume die Hausherren sind.

8.4.3 Ausfallsicherheit durch Redundanz

Um Ausfälle im Backbone soweit als möglich zu minimieren werden die in Abschnitt 4.1.2 dargestellten Maßnahmen umgesetzt.

Die Verteiler des Sekundärnetzes könnten bei Bedarf redundant an die Primärnetzknoten angeschlossen werden. Alle zum Betrieb des Backbones notwendigen Netzkomponenten sind mit einem redundanten Netzteil ausgestattet. Darüber hinaus verfügen alle eingesetzten Backbone-Router über redundante Managementmodule (notwendig für Routing). Bei der Auswahl der Netzkomponenten (Router und Switches) wurde großer Wert darauf gelegt, dass bei den eingesetzten chassis-basierten Systemen hot-swap-fähige Module zum Einsatz kommen. Hierdurch werden unnötige Ausfallzeiten bei Upgrades (Erweiterungen) und beim Austausch im Fehlerfall vermieden.

8.4.4 Managementnetz

Aus Sicherheitsgründen ist zum Management aller Netzkomponenten ein eigenes Management-Netz auf der Basis eines im MWN gerouteten privaten Netzes realisiert. Dieses wird zudem durch eigene VLANs separiert. Über dieses Netz können alle Netzkomponenten von den Managementsystemen erreicht werden. In Zukunft könnte dieses Netz auch zu Accounting-Zwecken benutzt werden. Der Zugang zu den Routern und Switches ist nach Möglichkeit auf wenige Systeme (z. B. Managementstationen) beschränkt. Wenn möglich erfolgt dieser Zugang ausschließlich über SSH/SSL. Zum Zugriff auf die Managementinformationen der Netzkomponenten kommt SNMPv3 zum Einsatz. Bei Störungen müssen wichtige Netzkomponenten zusätzlich über ein Out-of-band-Management erreichbar sein (Modem, etc.). Dies ist derzeit für alle Backbone-Router realisiert, wobei die modembasierte Einwahl größtenteils durch kleine LTE-Router abgelöst wurde.

Für das zentrale Netz- und Systemmanagement wird als Plattform IBM Tivoli Netcool eingesetzt. Für das Management der Switches wurde die Applikation ProCurve Manager Plus von HP eingesetzt. Seit dem Jahr 2014 kann dieses Produkt nicht mehr eingesetzt werden. Zum einen war es nicht mehr in der Lage, die stark steigende Zahl von Komponenten zu

verwalten, zum anderen wurde das Produkt von HP abgekündigt. Hier besteht der dringende Bedarf nach einer Nachfolgelösung. Für das Incident- und Change-Management wird ein IT-Service Management Werkzeug (iET ITSM Toolsuite) eingesetzt. Außerdem werden ein Tool für SLA-Reporting (InfoVista) und das Customer Service Management (CSM) für das MWN für spezifische Views auf die gesammelten Managementdaten verwendet.

9 Datenschutz

Hier wird nur der wissenschaftliche Bereich behandelt, ohne auf die an anderer Stelle geregelten besonderen Belange der Verwaltung bzw. der medizinischen Netze einzugehen. Der vorliegende Abschnitt gibt auch nur Auskunft über Daten, die im Zuständigkeitsbereich des LRZ beim Betrieb des Netzes und zentraler Server anfallen. Die angeschlossenen Institutionen regeln den Umgang mit diesen Daten in eigener Verantwortung. Es ist hierbei zwischen Nutzerdaten und Betriebsdaten zu differenzieren.

Unter den Betriebsdaten werden die Daten verstanden, die im LRZ beim Betrieb des Netzes und zentraler Server anfallen. Im LRZ existiert eine Auflistung aller dieser Daten. Für alle Daten ist der betriebliche Zweck aufgeführt, zu dem sie gespeichert werden, und daraus abgeleitet der Zeitraum (i. d. R. sieben Tage), nach dem sie wieder gelöscht werden.

Die Nutzerdaten, die im LRZ auf den zentralen Servern (z. B. Compute-, Mail-, WWW-Server) und im Backup- und Archivservice gespeichert sind, sind mit den üblichen Mechanismen durch Nutzererkennung und Passwort geschützt. Hier kommt es darauf an, Nutzererkennung und Passwort gegen unbefugte Kenntnisnahme zu schützen, und zwar sowohl an den Orten, an denen sie gespeichert sind, als auch auf dem Weg über das Netz. Soweit sie im LRZ gespeichert sind, sind sie mit den gängigen Mechanismen der verschlüsselten Speicherung in UNIX- und Windowssystemen geschützt. Es muss vermieden werden, dass Nutzerkennungen und Passwörter im Klartext übermittelt werden. Deshalb sind z. B. die Server des LRZ schon lange nicht mehr über Telnet, sondern nur noch über SSH (secure shell) erreichbar. Für WWW-Zugriffe wird durchgängig HTTPS angeboten. Auch auf E-Mail und andere Dienste kann nur noch über sichere, meist SSL- bzw. TLS-basierte Verfahren zugegriffen werden.

Beim Backup- und Archivierungsdienst (am LRZ eingesetzt: TSM von IBM/Tivoli) ist sowohl eine verschlüsselte Client/Server-Übertragung als auch eine automatische Verschlüsselung bei der Speicherung konfigurierbar.

Für alle vom LRZ angebotenen Dienste existieren Verfahrensbeschreibungen gemäß dem Bayerischen Landesdatenschutzgesetz (BayDSG), die vom Datenschutzbeauftragten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften freigegeben wurden. Für vom LRZ betriebene webbasierte Dienste sind entsprechende Online-Datenschutzerklärungen vorhanden. Mit den Kundeneinrichtungen (LMU, TUM, HM, BSB, ...) wurden Auftragsdatenverarbeitungsverträge geschlossen.

10 Accounting

Beim Accounting wird zwischen Nutzerstatistiken zu Informations- bzw. Planungszwecken und Accounting zu Abrechnungszwecken unterschieden.

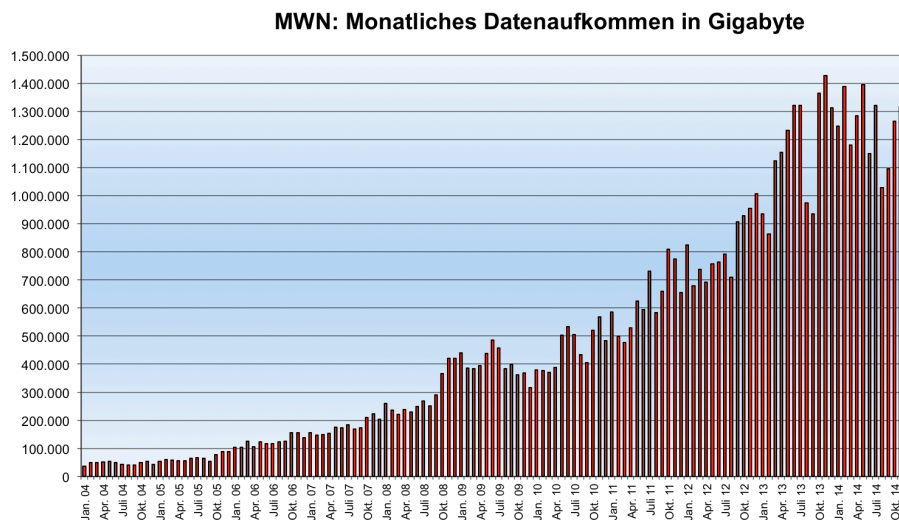


Abbildung 16: Entwicklung des Internet-Datenverkehrs in den vergangenen Jahren

10.1 Nutzungsstatistik zu Informations- und Planungszwecken

Für die externe Nutzung der Netzdienste über den X-WiN-Anschluss wird eine Statistik erstellt. Sie ist in unterschiedlicher Detailtiefe vorhanden. So werden zur Aufdeckung von Missbrauchsfällen Statistiken in Stunden- bzw. Tagesintervallen erstellt, die Auskunft über die Nutzung auf Basis der Rechner-IP-Adresse liefern. Bei der Statistik auf Monatsbasis erfolgt eine Aggregation der Nutzung auf Institutsebene bzw. Hochschulebene.

Für Planungszwecke sind netzstrukturbezogene Daten über den internen (und auch den externen) Verkehr wichtig. Diese Verkehrsdaten werden derzeit regelmäßig nur auf der Ebene der Routerinterfaces gesammelt; Abbildung 16 zeigt dies am Beispiel der Entwicklung des Internet-Traffics am X-WiN-Übergang. Bei den Switches wird dies aufgrund des großen Aufwands nur für bestimmte Teilbereiche durchgeführt (zentrale Switchkomponenten in Campusbereichen). Endgeräteanschlüsse werden wegen des erheblichen Aufwands nicht in Erwägung gezogen. Dennoch hat man hiermit ein mächtiges Werkzeug in der Hand, um auf Veränderungen der Netznutzung rechtzeitig, d. h. proaktiv reagieren zu können. Diese Daten fallen im Rahmen eines eingesetzten Service-Level-Agreement-Tools (InfoVista) und des Customer Network Management (CNM)-Tools für das MWN (Weiterentwicklung des gleichnamigen Tools im X-WiN) an.

10.2 Accounting zu Abrechnungszwecken

Zurzeit werden den satzungsgemäßen Nutzern bzw. den angeschlossenen Institutionen für die Nutzung des MWN keine Gebühren berechnet. Deshalb findet auch kein nutzerbezogenes Accounting statt. Allgemein dürfte es mit den derzeit zur Verfügung stehenden

Möglichkeiten auch sehr schwer, wenn nicht unmöglich sein, aufgrund der äußerst heterogenen Struktur und der verteilten Zuständigkeiten im MWN ein halbwegs zuverlässiges, nutzerbezogenes Accounting zu realisieren.

11 Betriebs- und Nutzungsregelungen

Die jeweils gültigen Betriebs- und Benutzungsregeln für die Nutzung der zentralen Server des LRZ („Benutzungsrichtlinien für die Informationssysteme des Leibniz-Rechenzentrums der Bayerischen Akademie der Wissenschaften“) finden sich in

www.lrz.de/wir/regelwerk/benutzungsrichtlinien/

Ergänzende Betriebsregelungen sind unter

www.lrz.de/wir/regelwerk/betriebsregeln/

festgehalten. Die für die Nutzung des MWN gültigen Richtlinien sind zu finden unter

www.lrz.de/wir/regelwerk/netzbenutzungsrichtlinien/

Diese werden durch die Regeln für den Betrieb von institutseigenen WLANs unter

www.lrz.de/services/netz/mobil/inst-funklans/

ergänzt.

Zusammengefasst finden sich unter

www.lrz.de/wir/regelwerk/

alle für die Nutzung der vom LRZ angebotenen Dienste (zentrale Server, MWN, ...) geltenden Regelungen und Hinweise.

12 Unterstützung dezentraler Systeme und Dienste über das Netz

In diesem Abschnitt wird die Rolle des Netzes sowohl für dezentrale Systeme als auch für diverse über das Netz angebotene Dienste beschrieben.

12.1 Mail- und Groupware-Services

Das LRZ betreibt zentrale Mailrelay-Rechner, die den ankommenden und abgehenden Mail-Verkehr (derzeit durchschnittlich ca. 5 Millionen E-Mails pro Monat) an die Mailserver im LRZ und in Hochschulinstituten weiterleiten. Aus Sicherheitsgründen (Viren- und Spam-Mails) ist es neben den Mailrelays des LRZ nur einer kleinen Anzahl weiterer Mailserver einzelner Fakultäten gestattet, direkt E-Mails aus dem Internet zu empfangen. Für alle anderen gilt eine Sperre des SMTP-Ports 25. Ungefähr 70% aller E-Mails aus dem Internet laufen über die Mailrelays des LRZ. Dort ankommende Mails durchlaufen zunächst das so genannte Greylisting und können dieses nur passieren, wenn die Mailquelle bereits bekannt ist, und ein DNS-basiertes Blacklisting. Dadurch werden ca. 98% der Viren- und Spam-Mails, für die in der Regel nur ein Zustellversuch unternommen wird, an den Mailrelays gar nicht erst angenommen. E-Mails, die diese Hürde nehmen, werden anschließend auf weiteren Rechnern auf Infektionen mit Viren und Würmer überprüft (durch Sophos-Antivirus und Clam-Antivirus) sowie einer Spam-Bewertung unterzogen (durch SpamAssassin).

Neben den Mailrelays betreibt das LRZ einen Mailinglisten-Server und mehrere Message-Stores mit ca. 210 virtuellen Maildomains. Auf je einem Message-Store sind die Mailservices für die Portale CampusLMU und TUMonline realisiert. Auf einem weiteren Message-Store befindet sich der größte Teil der virtuellen Domains für einzelne Lehrstühle, Institute und Fakultäten der beiden Universitäten sowie anderer Organisationen. Auf alle Mailboxen kann mit den Protokollen IMAP und POP zugegriffen werden. Außerdem existiert eine Webmail-Oberfläche, über die die Mailboxen weltweit auf einfache Weise erreicht werden können.

Schließlich betreibt das LRZ eine Exchange-Server-Farm als Groupware-Lösung, die bereits produktiv für die TUM und die HM sowie im Pilotbetrieb für ausgewählte LMU-Fakultäten eingesetzt wird und aufgrund der außerordentlich guten Akzeptanz die anderen Mailserver sukzessive ablösen könnte.

12.2 Verzeichnisdienst-Services

Vom LRZ werden mehrere Verzeichnisdienste betrieben, die sich für verschiedene Anwendungszwecke eignen. Sie werden im Folgenden für die jeweilige Zielgruppe separat beschrieben.

12.2.1 TUMonline-Verzeichnisdienste

Als primäre Datenquelle für den TUM-Verzeichnisdienst dient das 2008 eingeführte Campus Management System TUMonline, das Benutzerdatensätze aller TUM-Angehörigen (differenziert nach Studenten, Mitarbeitern und Gästen) an einen zentralen Verzeichnisdienst liefert, der die Daten aufbereitet, konvertiert und selektiv in weitere Verzeichnisdienste und Dienste einspielt. Der darin enthaltene Benutzerdatenbestand wird insbesondere an das MWN-weite Active Directory weitergegeben, das zur delegierten Administration von Windows-Arbeitsplatzrechnern eingesetzt werden kann und die Basis für Dienste wie die Groupware Microsoft Exchange und den zentralen NAS-Filer bildet.

12.2.2 LRZ Identity Management mit LDAP-Verzeichnisdiensten

Die LRZ-Verzeichnisdienstarchitektur basiert auf einem zentralen Meta-Directory, das die Benutzerdaten zwischen den übrigen Verzeichnisdiensten abgleicht. Ein zentraler Aspekt der Verzeichnisdienstarchitektur ist die Schnittstelle zu den Identity-Management-Systemen der beiden Münchner Universitäten, über die ausgewählte Benutzerinformationen automatisiert ausgetauscht werden können, ohne dass eine erneute manuelle, fehleranfällige und zu Inkonsistenzen führende Neuerfassung der Benutzer notwendig wird. Diese Anbindung befindet sich für CampusLMU und für den TUMonline-Datenbestand im Produktivbetrieb.

12.3 DFN-AAI: Authentifizierungs- und Autorisierungsinfrastruktur

Durch hochschulübergreifend gemeinsame Studiengänge, den Bolognaprozess und die Mobilität von Lehrenden und Lernenden getrieben gewinnt die hochschulübergreifende Nutzung von IT-Diensten immer mehr an Bedeutung. Über die durch Roaming mögliche WLAN-Nutzung an anderen Hochschulen deutlich hinausgehend bildet die vom Verein zur Förderung eines deutschen Forschungsnetzes (DFN) betriebene Authentifizierungs- und Autorisierungsinfrastruktur (DFN-AAI) seit 2007 die Basis für die deutschlandweite, hochschulübergreifende Nutzung von web-basierten Diensten wie E-Learning-Systemen, Zugang zu digitalen Medien von akademischen Verlagen und Download lizenzierter Software, die z. B. für Studenten kostenlos angeboten wird. Zur Teilnahme einer Hochschule an der DFN-AAI ist der Betrieb eines so genannten Shibboleth Identity Providers notwendig, der zur Authentifizierung der Hochschulmitglieder eingesetzt wird und den Dienstleistern selektiv Benutzerprofildaten zur Verfügung stellen kann. Das LRZ betreibt diese Infrastruktur produktiv für die beiden Münchner Universitäten und seine eigenen Mitarbeiter.

12.4 WWW-Dienste

Das LRZ betreibt eine Webserver-Farm, auf der folgende Dienste realisiert werden:

- Virtuelle WWW-Server: Betrieb von Web-Servern für Institute und Lehrstühle, die das nicht selbst übernehmen möchten (für die Inhalte der dargebotenen Information müssen sie allerdings selbst sorgen). Dieser Dienst, der derzeit von ca. 900 Einrichtungen in Anspruch genommen wird, erspart den Betrieb eines eigenen, physischen WWW-Server-Rechners, daher der Name „virtueller Server“.
- WWW-Server des LRZ: Auf diesem Server stellt das LRZ die Dokumentation für seine Benutzer zur Verfügung.
- Spezielle WWW-Server: In diese Kategorie gehören z. B. die Server lists.lrz.de (Management von Mailinglisten) und idportal.lrz.de (Self Services zur Konfiguration der eigenen Kennung).

Darüber hinaus betreiben im Bereich des MWN viele Institute und Einrichtungen eigene Webserver, insbesondere in den technisch-naturwissenschaftlich bzw. ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten, sowie diverse Instanzen des Learning Management Systems Moodle für LMU und TUM.

12.5 File-Service

Für die Bereitstellung zentraler Dateiablagebereiche werden hochverfügbare NAS-Filer eingesetzt. Im Rechenzentrum werden für die gemeinsame Datenhaltung über CIFS im Windows-Bereich diese Filer schon seit vielen, im Linux-Bereich seit einigen Jahren genutzt. Das gleiche Konzept wurde im Rahmen von IntegraTUM an der TUM hochschulweit verfolgt und ist dort seit dem Sommersemester 2008 im Produktionseinsatz. Mit der LMU laufen Pilotprojekte auf Fakultätsebene. Auf die Dateien in den gemeinsamen Ablagebereichen sowie im eigenen Home-Directory können die Benutzer auch über ein web-basiertes, weltweit erreichbares Frontend zugreifen (webdisk.ads.mwn.de/). Für 2015 ist die Produktivführung der Sync&Share-Lösung Powerfolder geplant, mit der Dateien auch mit externen Kooperationspartnern ausgetauscht werden können, die keine eigene LRZ-Kennung haben.

In allen diesen Fällen ist ein hochperformanter und unterbrechungsfreier Netzbetrieb Grundvoraussetzung.

12.6 Backup/Archivierung

Das LRZ bietet seit 1996 einen zentralen Backup- und Archivierungsdienst auf der Basis des Tivoli Storage Manager von IBM an. Im Hinblick auf die Architektur kann zwischen drei Systemen unterschieden werden:

1. LABS — das LTO-Archiv- und Backupsystem für allgemeine Anwendungen.
2. HABS — das Hochleistungsarchiv- und Backupsystem für besonders datenintensive Anwendungen.
3. DRABS — der Spiegel für Archivdaten, der auf Disaster Recovery optimiert ist.

Die Systeme bestehen aus 21 Rechnern mit 388 Cores, 3.952 GB RAM, sechs Fibre Channel Switches und zwei Fibre Channel Direktoren, 56 10GE-LAN Ports mit 100 Gbit/s Uplink zum LRZ-Backbone, 18 Storage Servern mit 2.700 TB verteilt auf 2.424 Festplatten mit 70 GB/s Gesamtdurchsatz, fünf Tape-Libraries mit insgesamt 61.500 Slots und 126 Bandlaufwerken (LTO-4, LTO-5 und LTO-6 sowie T10K) mit 24 GB/s Gesamtdurchsatz.

Der Datenfluss wird durch die großen Ein-/Ausgabedatenmengen der HPC-Systeme, vor allem des Höchstleistungsrechners, einerseits und die Sicherung von MWN-weit rund 9.000 Systemen von 450 verschiedenen Einrichtungen geprägt. Eine weitere, sehr rasch wachsende Datenquelle sind die Digitalisate der Bibliotheken, die zur langfristigen Speicherung ans LRZ geschafft werden.

Diese Anwendungen nutzen naturgemäß das Kommunikationsnetz sehr intensiv: Täglich werden an den TSM-Servern rund 100 TB Daten entgegengenommen. Über eine 10 Gbit-Verbindung werden die Archivdaten zusätzlich an das Rechenzentrum der Max-Planck-Gesellschaft in Garching gespiegelt.

12.7 Storage Area Network

Das Storage Area Netzwerk (SAN) des LRZ bildet die Grundlage für die Vernetzung der Massenspeicherkomponenten. Das ursprüngliche SAN, dessen Anfänge auf das Jahr 2000 zurückgehen, wurde in den letzten Jahren stark ausgebaut und aus Gründen der höheren

Verfügbarkeit in mehrere sogenannte Fabrics aufgeteilt. Es werden getrennte Fabrics für das Hochleistungsarchiv, das LTO-Archiv- und Backupsystem, das verteilte Filesystem und das SAN-Filesystem des Höchstleistungsrechner betrieben. An die SAN-Fabrics sind Storage-server mit einer Kapazität von mehr als 5,5 PetaByte, alle Bandlaufwerke der Libraries und alle Serversysteme mit hohem Datenverkehr, insbesondere die File- und Backupserver angeschlossen.

12.8 Windows- und Linux-Netzdienste

Das lokale Netz wird im Windows- und Linux-Bereich für die klassischen Dienste genutzt: Zugriff auf Dateidienste, Mail-Services, gemeinsame Druckernutzung usw. Das LRZ setzt sie in folgenden Gebieten ein:

- PCs in Kursräumen, in denen Windows-Applikations- und Unix-/Linux-Administrations- und Programmierschulungen angeboten werden. Die einzelnen Windows-Kurs-PCs werden über das Kommunikationsnetz installiert und mit einem zentralen Kurs-Server mit Applikationssoftware versorgt. Die Linux-PCs haben Zugriff auf einen für sämtliche Rechnerklassen genutzten Installationsserver.
- Windows-PCs und MACs in öffentlichen Pools, zur Nutzung durch Studenten und Hochschulangehörige. Diese Geräte sind mit einer breiten Softwarepalette von Büroanwendungen bis zu Spezialgrafikprogrammen ausgestattet und ergänzen die fachspezifischen Geräte in den CIP-Pools der Münchener Hochschulinstitute.
- PCs als Mitarbeiterarbeitsplätze des LRZ, sowohl in der wissenschaftlichen Betreuung als auch in der Verwaltung. Außerdem sind eine Reihe solcher PCs im Management der Rechner und der Infrastruktur eingesetzt. Alle diese PCs greifen auf gemeinsame Datei- und Funktionsserver zu.
- PCs in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, der TUM im Rahmen des gemeinsam erbrachten Dienstes TUM-PC (mehr als 1.500 versorgte Endgeräte), der LMU Biologie I und der Hochschule für Musik und Theater mit Windows-File und Print-Services.

Neben dem Einsatz von Linux und Windows gibt es Windows-basierte Citrix Terminal Services, die es erlauben, Applikationen, die nicht an lokalen PCs verfügbar sind, remote zu nutzen. Auf diese Terminal Services kann auch über Unix/Linux/OSX zugegriffen werden, z. B. um für diese Systeme MS-Office-Produkte verfügbar zu machen. Die dauernde Verfügbarkeit des Netzes und dessen hohe Leistungsfähigkeit ist in allen diesen Einsatzbereichen von essentieller Wichtigkeit.

WSUS-Server Das LRZ bietet für Windows-Rechner im MWN die Nutzung eines Microsoft Windows Software Update Service (WSUS) an; der entsprechende Server wird am LRZ betrieben. Der Dienst ermöglicht Betreibern von Windows-Rechnern, ihre Systeme automatisch auf dem aktuellen Patch-Stand zu halten. Der Software Update Service des LRZ ist Teil eines umfassenden Software-Sicherheitskonzepts.

Sophos-Anti-Virus Das LRZ hat für die Anti-Viren-Software Sophos schon seit mehreren Jahren eine Landeslizenz für die bayerischen Hochschulen, die es u. a. erlaubt, das Produkt im Münchner Hochschulbereich weiterzugeben. In diesem Umfeld wird im MWN auch ein Verfahren angeboten, mit dem die Installation und die regelmäßigen Updates sehr einfach über einen Remote-Update-Server, der am LRZ betrieben wird, zu bewerkstelligen sind. Hierdurch können auch Rechner mit privaten Adressen in einem automatischen Updateverfahren versorgt werden.

12.9 Softwareverteilung

Das LRZ betreibt FTP-serverbasierte Transferbereiche zum Austausch von Dateien, die aufgrund ihrer Größe nicht z.B. per E-Mail verschickt werden können. Im Bereich der Institute werden weitere FTP-Server betrieben, darunter auch Mirror für populäre Open Source Software, z. B. Linux-Distributionen wie Debian.

13 Netz- und Dienstmanagement

Das Netz- und Dienstmanagement umfasst Maßnahmen zur Dienstqualität, Wartung, Überwachung und Störungsbeseitigung.

13.1 Dienstqualität

Das LRZ berät Nutzer des MWN bei der Verwendung der angebotenen Netzdienste und bei der Aufklärung von Störungsursachen via Servicedesk, der mit in das Störungsmanagement eingebunden ist, und durch regelmäßig abgehaltene Schulungsveranstaltungen.

Darüber hinaus findet mit den Netzverantwortlichen, die als Ansprechpartner für das LRZ vor Ort in den Instituten fungieren, in Fragen der Planung und Einrichtung neuer Infrastrukturen ein regelmäßiger Austausch statt. Um das notwendige Know-How vor Ort sicher zu stellen, werden für die Netzverantwortlichen und Interessierte auch spezielle Schulungen angeboten.

13.2 Dienstgüte

Die Behandlung der Dienstgüte umfasst die Aspekte Verfügbarkeit, Traffic-Klassifizierung und Reporting.

13.2.1 Verfügbarkeit

Ziel des LRZ ist es, mit dem vorhandenen Personalbestand eine maximale Verfügbarkeit des Netzes zu gewährleisten. Es werden alle zur Verfügung stehenden Mechanismen genutzt, die eine möglichst rasche und automatische Umschaltung im Fehlerfall bewirken, damit Betriebsunterbrechungen möglichst vermieden oder zumindest sehr kurz gehalten werden können. Zudem sinken die Wartungskosten, weil nur noch in sehr wenigen Fällen

sehr kurze (teure) Reaktionszeiten mit den Dienste/Komponenten-Lieferanten zu vereinbaren sind.

Zu den Redundanz-Mechanismen zählen:

- Redundante Leitungswege im Backbone
- Mehrfache Internet-Anbindung (doppelt über X-WiN + Backup über M-net, vgl. Abbildung 8)
- OSPF im Backbone, BGP zu den Internet Providern (zur automatischen Wege-Umschaltung)
- Redundanter Rechenzentrums-Router (ausgeführt als Virtual Path Channel (VPC))
- Spanning-Tree im Rechenzentrums-Backbone (Layer-2 Ausfallsicherheit)
- Proaktives Management (z. B. Überwachung der Fehlerzähler an Router- und Switch-ports)

13.2.2 Class-of-Service / Quality-of-Service

Grundsatz ist, im Netz zu jedem Zeitpunkt ausreichende Kapazitäten zur Verfügung zu halten, um die nachgefragten Dienste in guter Qualität abwickeln zu können. Das erscheint mittel- und langfristig effizienter und wirtschaftlicher als eine aufwändige und mit dem vorhandenen Personal ohnehin nicht leistbare Mangelverwaltung zu betreiben. Andererseits sollen völlig bedarfsferne Überkapazitäten vermieden werden. Deshalb ist es notwendig, wesentliche Charakteristika der Verkehrsflüsse in ihrer zeitlichen Entwicklung sowie wichtige Dienstgüteparameter zu messen und als Planungsgrundlage auszuwerten. Im Rahmen dieser Tätigkeiten werden derzeit die Anschlussleitungen der Institute sowie die Leitungen im Backbone auf ihre Auslastung hin überwacht. Übersteigt die durchschnittliche Auslastung eines Interfaces mehrfach die Marke von 30% (Mittelwert für 15 Minuten), so werden entsprechende Schritte für eine Hochrüstung der Bandbreite dieses Anschlusses eingeleitet.

Es ist abzusehen, dass (Multimedia-)Dienste (z. B. Vorlesungsübertragung per IP-Codecs, Videokonferenz, Voice-over-IP usw.) an Bedeutung zunehmen werden, die auf bestimmte Dienstgüteparameter (Paketverluste, Verzögerung, Jitter) besonders empfindlich reagieren. Zur Qualitätssicherung für solche Dienste wird man auf steuernde Eingriffe (Priorisierung, Ende-zu-Ende-Kontrolle mit geeigneten Agenten) nicht verzichten können. Bei der Auswahl von Netzkomponenten (Router und Switches) wurde vom LRZ bereits seit 1999 darauf geachtet, dass sich hier CoS-Funktionen abhängig von unterschiedlichen Parametern (IP-Adresse, MAC-Adresse, Port, ...) einstellen lassen. Leider enden derzeit die Möglichkeiten der Steuerung von CoS bereits am Übergang ins Internet (X-WiN). Es fehlen noch immer Absprachen (auf interorganisationeller Ebene), um eine Ende-zu-Ende-Priorisierung entsprechender Datenströme zwischen deutschen Wissenschaftseinrichtungen angehen zu können. Ob dies notwendig wird, muss die Zukunft zeigen: Es kann auch sein, dass aufgrund der verfügbaren Bandbreite ein Priorisieren mittels CoS nicht notwendig wird.

13.2.3 Service-Level-Reporting

Die Nutzer des MWN erwarten vom LRZ als ihrem Dienstleister auch Informationen über den Zustand der Netzdienste. Die Informationspflicht wird derzeit mit folgenden Mechanismen erfüllt:

- Statistiken über die Auslastung ausgewählter Backbone-Interfaces (X-WiN-Anschluss, Backbone-Router), Nutzung der WLAN-Accesspoints und globale Verfügbarkeit des MWN-Backbones. Diese Statistiken sind allen Nutzern des MWN zugänglich (www.mwn.lrz.de, wlan.lrz.de/apstat/).
- Das Customer Network Management (CNM) für das MWN liefert den Netzverantwortlichen in den Instituten aktuelle und historische Informationen über den Zustand und die Qualität des MWN (www.cnm.mwn.de).
- Das seit längerem intern eingesetzte Service-Level-Reporting-Tool (InfoVista) wird zukünftig die MRTG-Statistiken ersetzen und liefert schon heute Reports über Verfügbarkeitszahlen diverser Router, Auslastungsstatistik u. ä. Es wurde ein gestuftes Zugriffskonzept erarbeitet, um den unterschiedlichen Nutzergruppen (Anwender, Netzverantwortlicher, LRZ-intern) entsprechende Sichten auf die gesammelten Informationen zur Verfügung stellen zu können. Die entsprechenden Berichte werden nach Absprache auch für einzelne Netzverantwortliche bereitgestellt.

13.3 Wartung

Im MWN ist derzeit aus Gründen der Kostenoptimierung folgendes Wartungskonzept realisiert:

- Wenn verfügbar, redundante Netzteile bei allen wichtigen Netzwerkkomponenten (z. B. Router, Switches). In den zentralen Backbone-Routern zusätzlich ein redundantes Managementmodul. Bei den eingesetzten chassis-basierten Systemen (Router und Switches) sind die zum Einsatz kommenden Module hot-swap-fähig. Hierdurch werden unnötige Ausfallzeiten bei Upgrades (Erweiterungen) und beim Austausch im Fehlerfall vermieden.
- Identifikation von Störungen, Störungsbehebung einschließlich Ein- und Ausbau von Komponenten ausschließlich durch das LRZ (während der Dienstzeiten kann so eine Entstörzeit von weniger als zwei Stunden gewährleistet werden).
- Einheitliches Servicekonzept für alle Netzkomponenten mit den folgenden Anforderungen:
 - Vorhaltung von Ersatzteilen für alle zentralen Komponenten, so dass ein Austausch eines defekten Elements jederzeit möglich ist.
 - Bring-In-Service mit Tausch der defekten Hardwarekomponenten innerhalb von 48 Stunden.
 - Service für Beratung (ServiceDesk und Fernwartung des Serviceanbieters).
 - Softwareservice (Updates, Problemdatenbank, ...).

Dieses Konzept erfordert eine möglichst homogene Geräteausstattung. Abhängig von der Funktion im Netz werden i. d. R. nur bestimmte, durch das LRZ in regelmäßigen Zeitintervallen ausgewählte Produkte eingesetzt. Dadurch lässt sich auch eine zentrale Ersatzteilhaltung realisieren, ohne sehr restriktiven Zeitvorgaben beim Bring-in-Service zu unterliegen und ohne dass die Qualität und die Verfügbarkeit des Netzes darunter leidet.

Während der Netzwartung (regelmäßig dienstags ab 07:00 Uhr bis max. 09:00 Uhr) werden eventuell notwendige Updates an Netzkomponenten eingespielt, veraltete oder defekte Geräte ausgetauscht oder gewünschte Konfigurationsänderungen durchgeführt. Da die

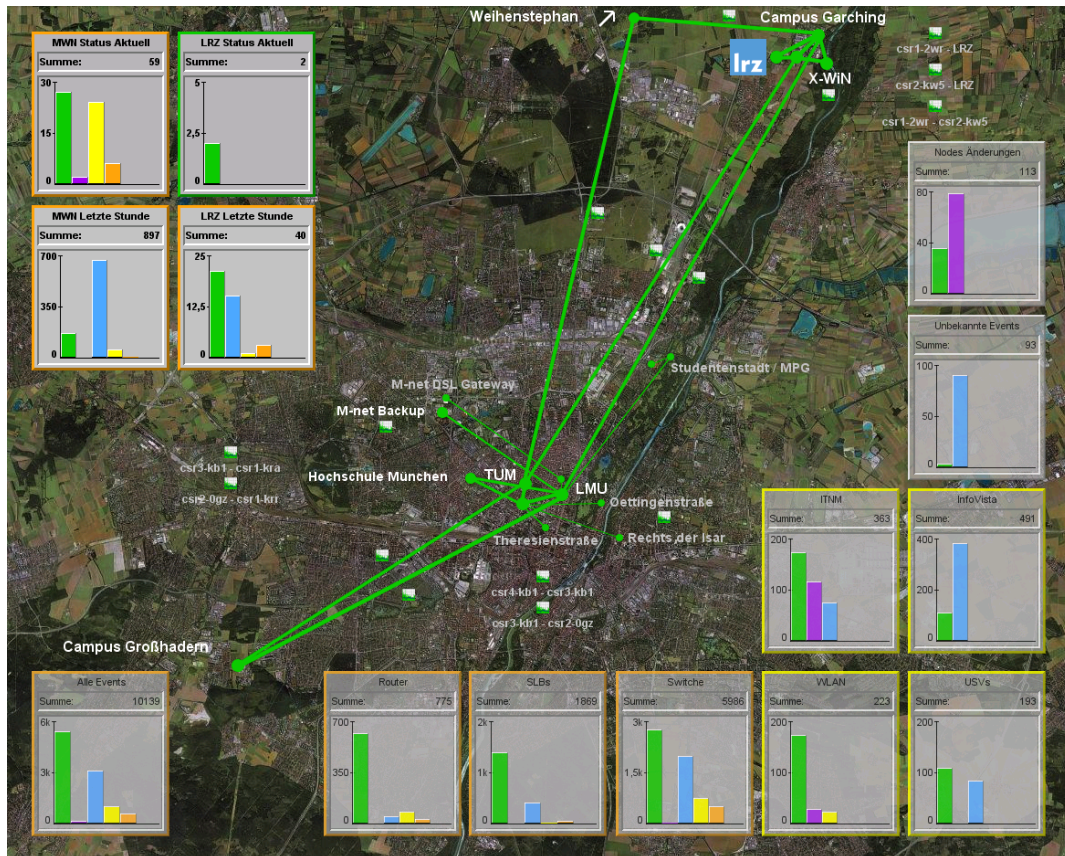


Abbildung 17: Darstellung des MWN-Monitoring in einer Gesamtübersicht

meisten Arbeiten aber nur lokale Teilnetze betreffen, ist meistens trotzdem der größte Teil des Netzes erreichbar. Die Unterbrechungen (wann ungefähr, wie lange und welche Bereiche oder Dienste betroffen sind) werden mindestens einen Tag vorher über die aktuellen Mitteilungen (ALI) des WWW-Servers des LRZ (www.lrz.de/aktuell) sowie per E-Mail an alle Netzverantwortliche bekannt gegeben. Größere Eingriffe oder Umbauten am Netz werden jeweils am Samstag durchgeführt. Die Ankündigungen hierzu erfolgen mindestens eine Woche im Voraus.

13.4 Netzüberwachung

Die Netzüberwachung und die Überwachung von Betriebsparametern erfolgt automatisiert und proaktiv durch die zentrale Netzmanagementplattform (IBM Tivoli Netcool); Abbildung 17 zeigt eine der Ansichten dieser Plattform. In regelmäßigen Abständen (5-Minuten-Intervall) werden sämtliche Netzkomponenten gepollt und der Status abgefragt. Fehler werden zusätzlich sofort dem für den Betrieb zuständigen Personal (Verteilerliste) per E-Mail und ggf. per SMS signalisiert. Da es bei größeren Störungen in diesem Umfeld aber zu einer erhöhten Flut von Fehlermeldungen kommen kann, wird mit einem Korrelationsverfahren gearbeitet, das eine Vorfilterung der Meldungen nach gewissen Regeln ermöglicht (Root Cause Analyse).

13.5 Incident und Change Management nach ISO/IEC 20000

Die Arbeitsfähigkeit sehr vieler Hochschulangehöriger hängt wesentlich von der Funktionsfähigkeit des Netzes und seiner Netzdienste ab. Störungen werden durch das Netzmanagementsystem (s. o.) und durch Meldungen der Nutzer erkannt. Fehlermeldungen der Nutzer können sowohl telefonisch an den LRZ-Servicedesk, wie auch per Web-Schnittstelle (Self-Service) gemeldet werden. Näheres ist beschrieben in www.lrz.de/fragen/.

Je nach Art der Störung werden vom LRZ (ggf. in Zusammenarbeit mit anderen, wie z. B. externen Providern, Netzverantwortlichen und Lieferanten) geeignete Maßnahmen eingeleitet. Um (besonders in komplexen Fällen) einen geordneten und koordinierten Verlauf sicherzustellen und zu dokumentieren, wird als zentrales Steuerungsinstrument ein Trouble-Ticket- und Incident-Management-System benutzt (iET ITSM-Suite). Durch entsprechende Vorkehrungen kann sich ein (berechtigter) Nutzer über den Bearbeitungszustand des von ihm initiierten Incident-Tickets (Störungsmeldung) per Web-Interface informieren; über wesentliche Lösungsschritte wird er zudem per E-Mail informiert. Bei der Klassifikation des Vorfalles wird nach Wichtigkeit (gering, mittel, kritisch) differenziert, wobei sich dieser Wert i. d. R. aus dem Umfang der betroffenen Nutzerschaft und den Service Level Agreements ableitet. Abhängig von dieser Klassifikation sind unterschiedliche Reaktionszeiten und Eskalationszeiträume hinterlegt.

Der Service-Desk des LRZ, der auch eine Telefon-Hotline betreibt, ist die Anlaufstelle, bei der alle Störungsmeldungen für den Verantwortungsbereich des LRZ auflaufen. Sie ist über eine einheitliche Rufnummer bzw. E-Mail-Adresse erreichbar und rund um die Uhr besetzt. Die zentrale Management-Station überwacht in regelmäßigen Abständen (5-Minuten-Intervall) per SNMP die Funktionsfähigkeit aller Netzkomponenten. Fehlersituationen generieren eine Meldung per E-Mail und bei wichtigen Netzkomponenten auch eine Nachricht per SMS.

Der zuverlässige Netzbetrieb ohne Unterbrechung sollte auch außerhalb der Dienstzeiten sichergestellt werden. Deshalb wurde die Möglichkeit der Einrichtung einer formellen Rufbereitschaft geprüft und für Netzkomponenten, die ausgewählte Dienste betreffen, eingeführt. Unabhängig davon liegt die Verfügbarkeit des zentralen Backbone-Netzes mit den entsprechenden Übergängen zu den Institutsinfrastrukturen fast immer bei mehr als 99,9%.

Im Rahmen der Ausrichtung der LRZ IT Service Management Prozesse nach ISO/IEC 20000 wurde auch das Management von Änderungen an den Netzdiensten und der Netzinfrastruktur stärker formalisiert. Änderungsanträge werden in so genannten Change Requests (CRs) erfasst, priorisiert, auf Abhängigkeiten untersucht, bewertet und genehmigt. In den CRs werden auch der gesamte Bearbeitungsverlauf und der jeweils aktuelle Stand festgehalten. Die aktuell in Bearbeitung befindlichen CRs werden einem wöchentlichen Review unterzogen und stehen als Dokumentation über den Abschluss der Arbeiten hinaus zur Verfügung.

14 Personelle Zuordnung

Die Abteilung Kommunikationsnetze des LRZ ist für das MWN zuständig. Dies bedeutet die Planung, Inbetriebnahme und den laufenden Betrieb des Netzes bis zur Datensteckdose am Arbeitsplatz des einzelnen Hochschulangehörigen. Die Leitung der Abteilung liegt in den Händen von Herrn Prof. Dr. Helmut Reiser. Die Abteilung gliedert sich in drei Gruppen Planung, Betrieb und Wartung.

Die Gruppe *Planung Kommunikationsnetze* betreut die Netzmanagement-Plattformen und –Werkzeuge (Netzdoku-System, Reporting-Tools, Trouble-Ticket-System und ITSM-Suite, Accounting usw.), ist bei Produktauswahlen und -konsolidierungen aktiv, hält einen ständigen Marktüberblick und beteiligt sich aktiv bei Pilotprojekten und Beta-Tests von Netzkomponenten und Managementwerkzeugen. Sie überwacht und treibt den schrittweisen Ausbau der Netzinfrastruktur voran und ist bei der Auswahl und Dimensionierung der aktiven Komponenten in Absprache mit den Instituten beteiligt (Netzplanung). Neben der Erarbeitung von Einsatzkonzepten (z. B. Einsatz von Firewalls im MWN) beschäftigt sich die Gruppe mit der Integration von Managementwerkzeugen sowie der pilothaften Untersuchung und Installation neuer Dienste (Voice-over-IP, Video-Conferencing, Vorlesungsübertragung, IDS, IPS, SIEM, Security-Reporting, Policy Management, Traffic Management usw.). Werden diese Dienste produktionsrelevant, dann gehen sie i. d. R. in den Zuständigkeitsbereich anderer Gruppen im LRZ über. In der Gruppe werden auch drittmittel-finanzierte Forschungsprojekte durchgeführt. Vom BMBF wird im Rahmen von CELTIC das Projekt Safe And Secure European Routing (SASER) finanziert. Die europäische Union fördert wissenschaftliche Arbeiten beispielsweise zum Management zur Visualisierung und zum Monitoring von GÉANT, dem Verbund der europäischen Forschungsnetze. Die Gruppe besteht aus Hochschul- und Fachhochschulabsolventen mit Schwerpunkt Informatik/Nachrichtentechnik. Die Leitung der Gruppe liegt in den Händen von Herrn PD Dr. Wolfgang Hommel.

Die Gruppe *Betrieb Kommunikationsnetze* betreut die aktiven Komponenten im MWN (Router, Switches, Accesspoints und netznahe Dienste wie z. B. DHCP, DNS, VPN, Firewall usw.). Zu den Aufgaben gehören die Konfiguration, die Dokumentation, das Monitoring der Netzinfrastruktur sowie die Fehlersuche (Layer 2 — Layer 7). Hinzu kommt die Unterstützung von Nutzern durch das Erstellen von Anleitungen und persönlichen Beratungen. Fremdfirmen werden bei diesen Prozessen nicht eingebunden. Wartungsverträge für die Netzkomponenten sehen nur einen Hotline-Support, Software-Update sowie einen Austausch defekter Teile per Paket vor; eine Präsenz vor Ort ist nicht vorgesehen. Die Gruppe besteht aus Hochschul- und Fachhochschulabsolventen mit Schwerpunkt Informatik bzw. Nachrichtentechnik sowie Mathematisch-Technischen Assistentinnen. Die Leitung der Gruppe liegt in den Händen von Herrn Dipl.-Math. Wolfgang Beyer.

Die Gruppe *Wartung Kommunikationsnetze* ist hauptsächlich mit der Inbetriebnahme neuer Infrastrukturen sowie mit der Fehlersuche und Fehlerbeseitigung vor Ort bei den Nutzern beschäftigt. Sie stellt die wesentliche Schnittstelle zu den Bauämtern und Planungsbüros bei der Realisierung neuer passiver Netzinfrastrukturen (Leitungswege, Verteilerstandorte usw.) dar. Eigene Leitungsinstallationen werden nicht durchgeführt; die Gruppe nimmt jedoch die Überwachung anstehender Installationen (Schnittstelle zum Installateur) sowie deren Abnahme wahr. Die Gruppe besteht bis auf den Leiter und dessen Stellvertreter aus Mitarbeitern, die als Informationselektroniker oder IT-Systemelektroniker ausgebildet wurden. Die Leitung der Gruppe liegt in den Händen von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Christof Häfele.

15 Anlage: Liste aller MWN-Unterbezirke

- **Bezirk A: Garching Hochschulgelände 1**
 - **A0:** TUM, Gebäude 5212, Radiochemie, Walther-Meißner Straße 3
 - **A1:** TUM, Gebäude 6101, Heizhaus, Römerhofweg 67, München
 - **A2:** TUM, Gebäude 6104, Feuerwehr, Römerhofweg 67
 - **A3:** TUM, Gebäude 5275, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Walther-Meißner-Straße 6
 - **A4:** TUM, Gebäude 5701, Imetum (Institute of Medical Engineering at TUM), Boltzmannstraße 11
 - **A5:** Wohnheim Enzianstraße (Garching II), Enzianstraße 1-3

- **A6:** TUM, Gebäude 5209, (alter) Reaktor-Betriebs- und Laborgebäude, James-Franck-Straße/Boltzmannstraße
 - **A7:** TUM, Gebäude 5210, (alter) Reaktor-Betriebszentrale, Lichtenbergstraße 1
 - **A8:** TUM, Gebäude 6102, TBA (Verwaltung), Römerhofweg 67, München
 - **A9:** Wohnheim Jochbergweg (Garching I), Jochbergweg 1
 - **AB:** TUM, LMU, Gebäude 5120, Beschleunigerbereich, Am Coulombwall 6
 - **AC:** TUM, Gebäude 5402, Chemiegebäude Bau Ch2, Lichtenbergstraße 4
 - **AD:** TUM, Gebäude 5402, Chemiegebäude Bau Ch3, Lichtenbergstraße 4
 - **AE:** TUM, Gebäude 5408, Hofgebäude I, Lichtenbergstraße 4
 - **AF:** TUM, Gebäude 5401, Chemiegebäude Bau Ch1, Bibliothek, Hörsaal, Lichtenbergstraße 4
 - **AG:** TUM, Gebäude 5402, Chemiegebäude Bau Ch6, Lichtenbergstraße 4
 - **AH:** TUM, Gebäude 5402, Chemiegebäude Bau Ch7, Lichtenbergstraße 4
 - **AI:** MPG, Institut für Plasmaphysik (IPP), Boltzmannstraße 2
 - **AJ:** TUM, Gebäude 5204, Umformtechnik und Gießereiwesen, Walther-Meißner-Straße 4
 - **AK:** TUM, Gebäude 5203, GRS -Hauptgebäude -Reaktordynamik und -Sicherheit, Boltzmannstraße 14/Neubau; Walther Meissner Straße 1/Altbau
 - **AL:** LMU, Gebäude 5109, Physikgebäude, Am Coulombwall 1
 - **AM:** TUM, Gebäude 5202, Reaktorbereich, Zyklotron, Boltzmannstraße
 - **AN:** TUM, Gebäude 5302, Mensa, Raumfahrttechnik, Lichtenbergstraße 2
 - **AO:** TUM, Gebäude 5219, Ersatzgebäude (Verwaltungsgebäude), Walter-Meißner-Straße 2
 - **AP:** TUM, Gebäude 5215, Reaktorstation, Lichtenbergstraße 1
 - **AQ:** TUM, Gebäude 5107, Physik II, James-Franck-Straße 1
 - **AR:** TUM, Gebäude 5205, Wetterstation, Walther-Meißner-Straße
 - **AS:** TUM, Gebäude 5201, Reaktorbereich, Lichtenbergstraße 1
 - **AT:** TUM, Gebäude 5101, Physikgebäude, James-Franck-Straße 1
 - **AU:** WMI, Gebäude 5213, Tieftemperaturforschung, Walther-Meißner-Straße 8
 - **AV:** TUM, Gebäude 5103, Bauamt, (bei Siemenshallen), James-Franck-Straße
 - **AW:** TUM, Gebäude 5111, Wassergütwirtschaft, Am Coulombwall 3
 - **AX:** TUM, Gebäude 5108 Infra-Schall-Labor in Messbunker (im Gelände), James-Franck-Straße 1
 - **AY:** WSI, Gebäude 5112, Walter-Schottky-Institut, Am Coulombwall 4
 - **AZ:** TUM, Gebäude 5130, Neubau Telefonzentrale, Boltzmannstraße 10a
- **Bezirk B: TUM-Stammgelände, TUM-Nordgelände und nächste Umgebung**
 - **B1:** TUM, Gebäude 0101, N1 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **B2:** TUM, Gebäude 0102, N2 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **B3:** TUM, Gebäude 0103, N3 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **B4:** TUM, Gebäude 0104, N4 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **B5:** TUM, Gebäude 0105, N5 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **B6:** TUM, Gebäude 0106, N6 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **B8:** TUM, Gebäude 0108, N8 (Nordgelände), Theresienstraße 90, München
 - **BA:** TUM, Gebäude 0510 (Stammgelände), TU-Verwaltung, Arcisstraße 21, München
 - **BB:** TUM, Gebäude 0501 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BC:** TUM, Gebäude 0502 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BD:** TUM, Gebäude 0503 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BE:** TUM, Gebäude 0504 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BF:** TUM, Gebäude 0505 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BG:** TUM, Gebäude 0506 (Stammgelände-Theresianum), Arcisstraße 21, München
 - **BH:** TUM, Gebäude 0507 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BI:** TUM, Gebäude 0508 (Stammgelände), im Kern, Arcisstraße 21, München
 - **BJ:** Jakob-Balde-Haus, Theresienstraße 100, München
 - **BL:** TUM, Gebäude 0205, Arcisstraße 19, München
 - **BM:** TUM, Gebäude 0509 (Stammgelände), Arcisstraße 21, München
 - **BN:** TUM, Gebäude 0206, Mensa, Arcisstraße 17, München
 - **BS:** TUM, Gebäude 0202, Gabelsbergerstraße 39, München
 - **BT:** TUM, Gebäude 0201, Gabelsbergerstraße 43, München
 - **BU:** TUM, Gebäude 0204, Gabelsbergerstraße 49, München
 - **BV:** TUM, Gebäude 0203, Gabelsbergerstraße 45, München

- **Bezirk C: HSWT Triesdorf**
 - **CA:** HSWT, Triesdorf Gebäude A (Altbau), Steingruberstraße 2, Weidenbach
 - **CB:** HSWT, Triesdorf Gebäude B (HTE), Steingruberstraße 2, Weidenbach
 - **CC:** HSWT, Triesdorf Gebäude C (Neubau), Steingruberstraße 1a, Weidenbach
 - **CD:** HSWT, Triesdorf Gebäude D (Steingruberhaus und Container), Steingruberstraße 2, Weidenbach
 - **CE:** HSWT, Triesdorf Gebäude E
 - **CF:** HSWT, Triesdorf Gebäude F, Weidenbach
 - **CG:** HSWT, Triesdorf Gebäude G, Weidenbach
 - **CH:** HSWT, Triesdorf, Gasthaus Adler, Weidenbach
- **Bezirk D: Block Theresienstraße /Barer Straße /Gabelsbergerstraße /Türkenstraße**
 - **DA:** LMU, Block A, Theresienstraße 37, München
 - **DB:** LMU, Block B, Theresienstraße 39, München
 - **DC:** LMU, Block C, Theresienstraße 41, München
 - **DN:** Neue Pinakothek, Barer Straße 29 (Theresienstraße) München
 - **DO:** Alte Pinakothek, Barer Straße 27, München
 - **DP:** Pinakothek der Moderne-Architekturmuseum, Barer Straße 40, München
- **Bezirk E: Oberwiesenfeld / ZHS**
 - **EC:** TUM, Gebäude C, Sport Ausweichquartier O2, Georg Brauchle Ring 58, München
 - **ED:** TUM, Gebäude D, Sport Ausweichquartier O2, Georg Brauchle Ring 60-62, München
 - **EF:** TUM, ZHS, BFTS (Bayerisches Forschungs- und Technologiezentrum für Sportwissenschaft)
 - **EG:** TUM, Gebäude 2304, ZHS Gymnastikhalle
 - **EH:** TUM, Gebäude 2301, ZHS
 - **EK:** TUM, Gebäude 2303, ZHS
 - **EN:** TUM, Gebäude 2305, ZHS
 - **EO:** Studentenviertel Olympisches Dorf, Helene-Mayer-Ring 9, München
 - **ET:** TUM, Gebäude 2308, ZHS Tribüne
 - **EZ:** TUM, Gebäude 2306, ZHS Zentralbau Süd, Connollystraße 32, München
- **Bezirk F: Königsplatz**
 - **FA:** TUM, Karlstraße 45, München
 - **FE:** LMU, Haus der Kulturen, ZIKG, Katharina-von-Bora-Straße 10, München
 - **FF:** HFF, Hochschule für Fernsehen und Film (HFF) Neubau, Bernd-Eichinger-Platz 1, ehem. Gabelsbergerstraße 33, München
 - **FG:** LMU, Geologische und Geographische Institute, Luisenstraße 37, München
 - **FH:** TUM, Katholische Hochschulgemeinde an der TUM, Karlstraße 32, München
 - **FL:** TUM, Gebäude 0401, Verwaltung, Mathematik, Richard-Wagner-Straße 18, München
 - **FM:** Musikhochschule, Luisenstraße 37a, München
 - **FN:** Gästeappartement Musikhochschule, Appartement 11, Barer Straße 34, Rückgebäude München
 - **FO:** Wohnheim K.St.V. Ottonia, Gabelsbergerstraße 24, München
 - **FP:** LMU, Paläontologie, Richard-Wagner-Straße 10, München
 - **FS:** Musikhochschule, Arcisstraße 12, München
 - **FV:** Institut für Volkskunde, Barer Straße 13, München
 - **FW:** Wohnheim der Ingeborg-van-Calker-Stiftung, Richard-Wagner-Straße 16, München
 - **FY:** Ägyptische Staatssammlung (Neubau), Barer Straße 23, München
 - **FZ:** TUM, Gebäude 0305, (S5 Ehem. LRZ-Gebäude), Barer Straße 21, München
- **Bezirk G: Westlich Ludwigstraße, südlich Akademiestraße, östlich Türkenstraße, nördlich Theresienstraße**
 - **G2:** IBZ, Amalienstraße 38, Amalienstraße 38, München
 - **GA:** LMU, Gebäude 0110, Akademiestraße 1, München
 - **GB:** LMU, Gebäude 0030, Hauptgebäude inkl. Turmgebäude, Bibliothek, Geschwister-Scholl-Platz 1, München
 - **GC:** LMU, Fakultät für Geschichte (Historicum), Schellingstraße 12, Altbau in Amalienstraße 52, München
 - **GD:** LMU, Gebäude 0010, Hauptgebäude an der Adalbertstraße (Adalberttrakt), Geschwister-Scholl-Platz 1, München
 - **GE:** LMU, Gebäude 0000E, Hauptgebäude an der Amalienstraße (Amalienstrakt), Geschwister-Scholl-Platz 1, München
 - **GF:** LMU, Gebäude 0090, Amalienstraße 54, München

- **GG:** LMU, Gebäude 0252, Schellingstraße 7, München
 - **GH:** LMU, Bibliothek und Medienlabor, Ludwigstraße 25, München
 - **GI:** MPG, Digital Library, MPI für Sozialrecht und Sozialpolitik (MPISOC), Amalienstraße 33, München
 - **GJ:** LMU, Schellingstraße 5, München
 - **GK:** LMU, Gebäude 0020, Hauptgebäude/Kernbereich, Physik-Altbau, Salinenhof, Geschwister-Scholl-Platz 1, München
 - **GL:** LMU, Schellingstraße 9, München
 - **GM:** LMU, Gebäude 0000M, Hauptgebäude/Mitteltrakt, Geschwister-Scholl-Platz 1, München
 - **GN:** LMU, Amalienstraße 83, München
 - **GO:** LMU, Gebäude 0121, Vorder- und Rückgebäude, Philosophie, Ludwigstraße 31, München
 - **GP:** LMU, Gebäude 0040, Philosophie, Ludwigstraße 27, München
 - **GQ:** LMU, Gebäude 0122, Rechtsinformatik, Ludwigstraße 29, München
 - **GR:** LMU, Gebäude 0200, Rückgebäude, Fak. für Kulturwissenschaften Bibliothek, Schellingstraße 3, München
 - **GS:** LMU, Gebäude 0203, Vordergebäude, Schellingstraße 3, München
 - **GT:** LMU, Amalienstraße 73, München
 - **GU:** LMU, Bioinformatik, Medieninformatik, Amalienstraße 17, München
 - **GV:** LMU, Gebäude 0120, Statistik, Ludwigstraße 33, München
 - **GW:** LMU, Gebäude 0000W, Hauptgebäude, Geschwister-Scholl-Platz 1, Nord München
 - **GX:** LMU, Gebäude 0060, Schellingstraße 10, München
 - **GY:** LMU, Gebäude 0050, Schellingstraße 4, München
 - **GZ:** LMU, Gebäude 0000Z, Hauptgebäude, Telefonzentrale, Geschwister-Scholl-Platz 1, München
- **Bezirk H: Residenz und Umgebung**
 - **HA:** BAAdW, Bau A (Turmbau), Akademiegebäude, Alfons-Goppel-Straße 11, München
 - **HC:** BAAdW, Bau C, Akademiegebäude, Alfons-Goppel-Straße 11, München
 - **HK:** BAAdW, Kapellenhof, Akademiegebäude, Alfons-Goppel-Straße 11, München
 - **HP:** MPG, Hauptverwaltung, Hofgartenstraße 2, München
 - **HZ:** BAAdW, Bau B, Akademiegebäude, Alfons-Goppel-Straße 11, München
- **Bezirk I: Campus Großhadern / Martinsried**
 - **IA:** LMU, FCP-A, Genzentrum, Molekularbiologie und Biochemie, Feodor-Lynen-Straße 25, München
 - **IB:** LMU, FCP-B, Pharmazeutische Biologie und Technologie, Butenandtstraße 5-13, München
 - **IC:** LMU, FCP-C, Pharmakologische Chemie, Butenandtstraße 5-13, München
 - **ID:** LMU, FCP-D, Anorganische Chemie, Butenandtstraße 5-13, München
 - **IE:** LMU, FCP-E, Physikalische Chemie, Butenandtstraße 5-13, München
 - **IF:** LMU, FCP-F, Organische Chemie, Butenandtstraße 5-13, München
 - **IG:** LMU, Neubau Bauabschnitt 2, Biologie I, Martinsried, Großhaderner Straße 2-4, Planegg-Martinsried
 - **IH:** LMU, Jugendmedizin, Heiglhofstraße 63, München
 - **IJ:** Mensa Martinsried, Großhaderner Straße 2-4, Planegg-Martinsried
 - **IK:** LMU, Gebäude 010-060, (Bettenhaus), Klinikum Großhadern, Rechenzentrum der Medizin, Marchioninistraße 15, München
 - **IL:** LMU, Neubau Bauabschnitt 1, Biologie II, Martinsried, Großhaderner Straße 2, Planegg-Martinsried
 - **IM:** MPG, Institut für Biochemie, Martinsried, Am Klopferspitz 18a, Martinsried
 - **IN:** MPG, Institut für Neurobiologie, Martinsried, Am Klopferspitz 18, Martinsried
 - **IO:** LMU, Neubau BioSysM, (Erweiterung Genzentrum), Butenandtstraße 1, München
 - **IP:** Zentrum für Prionforschung, Feodor-Lynen-Straße 27, München
 - **IQ:** IZB, Gründerzentrum Biotechnologie, Martinsried, Am Klopferspitz 19, Planegg-Martinsried
 - **IS:** Wohnheim Sauerbruchstraße, Sauerbruchstraße 59, 61 und Heiglhofstraße 44, 46, München
 - **IT:** Wohnheim Heiglhofstraße, Heiglhofstraße 64, 66, München
 - **IU:** LMU, Bauamt, Marchioninistraße 15a, München
 - **IW:** TUM, Gebäude 2801, Wassergüte, Marchioninistraße 17, München
 - **IZ:** LMU, Biomedizinisches Centrum (BMC) Martinsried
- **Bezirk J: Weihenstephan (inkl. Außenbezirke)**
 - **JO:** TUM, Gebäude 4321/4320, TUM-Verwaltung (TBA), Lange Point 24
 - **JA:** HWST, Gebäude 4199, Bioinformatik, (Altes Bauamt), Vöttinger Straße
 - **JB:** TUM, Gebäude 4111, Versuchs- und Lehrbrauerei, Weihenstephaner Steig 18

- **JC:** TUM, Gebäude 423/4224, (Neubau), Biowissenschaft/Gentechnik, Gregor-Mendel-Straße 2
 - **JD:** TUM, Gebäude 4298, (ehem. Degussa-Gebäude), Lise-Meitner-Straße 34
 - **JE:** Kinderkrippe Krabbelstube, Emil-Erlenmeyer-Forum 4
 - **JF:** TUM, Gebäude 4129, Fischbiologie, Mühlenweg 22
 - **JG:** HSWT, Versuchsgut Grünschwaige Eitting
 - **JH:** HSWT, Neubau "Neues Zentrum"
 - **JI:** IZB, Weihenstephan, Lise-Meitner-Straße 30
 - **JK:** TUM, Gebäude 4384, Aufbereitungshalle für Gemüse, Am Staudengarten
 - **JL:** TUM, Gebäude 4209, Landtechnik, Am Staudengarten 2
 - **JM:** TUM, Gebäude 4211, Landtechnik, Am Staudengarten 2
 - **JN:** TUM, Versuchsstation Viehhausen, Viehhausen 4, Kranzberg
 - **JO:** TUM Gebäude 4318, Hans Eisenmann-Zentrum (Zentralinstitut für Agrarwissenschaften), Liesel-Beckmann-Straße 2
 - **JP:** TUM, Gebäude 4264, Protein Modelling, Emil-Erlenmeyer-Forum 8
 - **JQ:** HSWT, Brau- und Getränketechnologie, Am Staudengarten 11
 - **JS:** TUM, Versuchsstation Kranzberger Forst
 - **JT:** TUM, Gebäude 4601-4620, Thalhausen, Ampertshausen 15, Kranzberg
 - **JV:** TUM, Veitshof, Veitsmüllerweg 4-6
- **Bezirk K: Klinikum Rechts der Isar**
- **K1:** TUM, Gebäude 561, Ismaninger Straße 22, München
 - **K2:** TUM, Gebäude 546, Ismaninger Straße 13, München
 - **K3:** TUM, Gebäude zwischen 523 und 507, Trogerstraße 5, München
 - **K4:** TUM, 2 kleine Gebäude zwischen 507 und 528, Trogerstraße 3, München
 - **K5:** TUM, Gebäude zwischen 516 und 514, Trogerstraße 9, München
 - **K6:** TUM, Gebäude 528, Ecke Troger- / Einsteinstraße, Trogerstraße 1, München
 - **K7:** TUM, Gebäude neben Gebäude 523, Trogerstraße 7, München
 - **K8:** TUM, Gebäude 541, Trogerstraße 5b, München
 - **K9:** TUM, Gebäude 713, Lehr und Trainingszentrum (LUTZ), Niggerstraße 3, München
 - **KA:** TUM, Gebäude 501, Hauptgebäude, Einsteinstraße 3, München
 - **KB:** TUM, Gebäude 502, Ismaninger Straße 22, München
 - **KC:** TUM, Gebäude 503, Ismaninger Straße 22, München
 - **KD:** TUM, Gebäude 504, Ismaninger Straße 22, München
 - **KE:** TUM, Gebäude 507, Trogerstraße 1b, München
 - **KF:** TUM, Gebäude 518, Psychosomatische Ambulanz, Langerstraße 3, München
 - **KG:** TUM, Gebäude 523, Klinikum (ABCE-Fächer) (RZ), Einsteinstraße 5, München
 - **KH:** TUM, Gebäude 508, Ismaninger Straße 22, München
 - **KI:** TUM, Gebäude 509, Trogerstraße 5b, München
 - **KJ:** TUM, Gebäude 510, Ismaninger Straße 22, München
 - **KK:** TUM, Gebäude 511, Ismaninger Straße 8, München
 - **KL:** TUM, Gebäude 505, Ismaninger Straße 22, München
 - **KM:** TUM, Geschichte und Ethik der Medizin, Trogerstraße 14, München
 - **KN:** TUM, Gebäude 514, Trogerstraße 7, München
 - **KO:** TUM, Gebäude 716, Neherstraße München
 - **KP:** TUM, Gebäude 516, Ismaninger Straße 22, München
 - **KQ:** TUM, Gebäude 517, Ismaninger Straße 22, München
 - **KR:** TUM, Gebäude 512, Trogerstraße 7, München
 - **KS:** TUM, Trogerstraße 5, München
 - **KT:** TUM, Gebäude 513, Trogerstraße 5, München
 - **KU:** TUM, Gebäude 506, Ismaninger Straße 22, München
 - **KV:** TUM, Gebäude 520, Ismaninger Straße 22, München
 - **KW:** TUM, Gebäude 551, Hörsaalgebäude, Einsteinstraße 3, München
 - **KX:** TUM, Gebäude 552, Einsteinstraße 5, München
 - **KY:** TUM, Gebäude 557, Trogerstraße 5, München
- **Bezirk L: Leopoldstraße vom Siegestor bis Münchner Freiheit mit Seitenstraßen**

- **L1:** KHG, Studentencafe der Katholischen Hochschulgemeinde, Leopoldstraße 11, München
 - **L3:** LMU, Gebäude 0601, Leopoldstraße 13, München
 - **LA:** LMU, Gebäude 0602, Leopoldstraße 13, München
 - **LB:** LMU, Gebäude 0603, Leopoldstraße 13, München
 - **LC:** LMU, Leopoldstraße 11, 11a, 11b, München
 - **LD:** LMU, Franz-Josef-Straße 15, München
 - **LE:** LMU, Georgenstraße 11, München
 - **LF:** Studentinnenheim Sophie-Barat-Haus, Franz-Josef-Straße 4, München
 - **LG:** LMU, Georgenstraße 5, München
 - **LH:** LMU, Seniorenstudium, Hohenstaufenstraße 1, München
 - **LI:** LMU, Tropenmedizin, Leopoldstraße 7, München
 - **LK:** LMU, Georgenstraße 7, München
 - **LL:** LMU, Soziologie, Konradstraße 6, München
 - **LM:** Mensa, Leopoldstraße, Leopoldstraße 13a, München
 - **LN:** LMU, Leopoldstraße 44, München
 - **LP:** Priesterseminar St. Johannes der Täufer, Georgenstraße 14, München
 - **LS:** LMU, Gebäude 0610, Leopoldstraße 15, München
 - **LT:** LMU, Gebäude 0620, Leopoldstraße 5, München
 - **LV:** LMU, Gebäude 0600, Leopoldstraße 3, München
 - **LW:** HMTM Musikhochschule Außenstelle Wilhelmstraße, Wilhelmstraße 17-19, München
- **Bezirk M: Garching Hochschulgelände 3**
 - **MA:** TUM, Schleißheimer Straße 90A
 - **MB:** TUM, Neubau Zentrum Energie und Information, Lichtenbergstraße 6
 - **MC:** TUM, Exzellenzcluster MIAPP (ehem. T1-Gebäude IPP), Boltzmannstraße 1
 - **ME:** TUM, Exzellenzzentrum (vor Maschinenwesen), Boltzmannstraße 17
 - **MF:** TUM, Forschungszentrum für Katalyse KATUM, Ernst-Otto-Fischer-Straße 1
 - **MG:** Neubau Mensa Garching
 - **MH:** TUM, Gebäude 5620, TUM Hall Interims Audimax, Boltzmannstraße 3
 - **MI:** Metall-Innung München-Freising-Erding, Lichtenbergstraße 10
 - **MK:** Kinderhaus (hinter Maschinenwesen), Boltzmannstraße 15 re.
 - **ML:** LMU, Laboratory for Extreme Photonics (LEX, CALA), Am Coulombwall 1a
 - **MN:** TUM, ZNN Zentrum für Nanotechnologie und Nanomaterialien, Am Coulombwall 4a
 - **MP:** Business Campus Garching II, Parkring 35-39
 - **MS:** TUM Gebäude 5515, Zentrum für Softskills, Boltzmannstraße 15
 - **MT:** UnternehmerTUM Neubau, Lichtenbergstraße (neben GATE)
 - **MU:** TUM, Physik Untergrundlabor, James Franck Straße 1
 - **Bezirk N: LMU, Tierärztliche Fakultät, Schwabing**
 - **NA:** LMU, Gebäude C (früher 0802), Anatomie, Veterinärstraße 13, München
 - **NB:** LMU, Gebäude J (früher 0828), Chirurgie der Schweine, Königinstraße 18, München
 - **NC:** LMU, Gebäude G (früher 0824), Chirurgie, Königinstraße 14, München
 - **ND:** LMU, Gebäude N (früher 0825), Chirurgie, Königinstraße 14, München
 - **NF:** LMU, Gebäude P (früher 0823), Gynäkologie, Königinstraße 12, München
 - **NG:** LMU, Gebäude E/F (früher 0820/0822), Gynäkologie, Königinstraße 12, München
 - **NH:** LMU, Gebäude R (früher 0840), Hygiene, Veterinärstraße 13, München
 - **NK:** LMU, Gebäude 0310, Zoologie Fischkrankheiten, Kaulbachstraße 37, München
 - **NL:** LMU, Gebäude L (früher 0827) Pharmazie, Königinstraße 16, München
 - **NM:** LMU, Gebäude S (früher 0850), Mikrobiologie+Pathologie, Veterinärstraße 13, München
 - **NN:** LMU, Gebäude T (früher 0851), Mikrobiologie, Veterinärstraße 13, München
 - **NO:** LMU, Gebäude Q (früher 0835), Rechnerbetriebsgruppe, Königinstraße 16, München
 - **NP:** LMU, Gebäude H (früher 0826), Pharmazie, Königinstraße 16, München
 - **NQ:** LMU, Gebäude K (früher 0830), Pharmazie, Königinstraße 16, München
 - **NS:** LMU, Gebäude V (früher 0860), Stallung, Veterinärstraße 13, München
 - **NT:** LMU, Gebäude B (früher 0801), Tierzucht, Königinstraße 8, München
 - **NY:** LMU, Gebäude A (früher 0800), Physiologie, Veterinärstraße 13, München

- **NZ:** LMU, Gebäude D (früher 0810), Lebensmittelkunde, Veterinärstraße 13, München
- **Bezirk O: LMU, Oettingenstraße 67**
 - **OE:** LMU, Gebäudeteil F (früher E), Oettingenstraße 67, München
 - **OG:** LMU, Gebäudeteil H (früher G), Oettingenstraße 67, München
 - **OK:** LMU, Baracke auf Parkplatz, Oettingenstraße 67, München
 - **OZ:** LMU, Gebäudeteil Z, Hauptgebäude, Mitte, Oettingenstraße 67, München
- **Bezirk P: Campus Weihenstephan 1**
 - **P0:** Wohnheim Giggenhauserstraße (Weihenstephan II), Giggenhauser Straße 25
 - **P1:** Wohnheim Giggenhauserstraße (Weihenstephan IV), Giggenhauser Straße 27-33
 - **P2:** TUM, Gebäude 4323, Kfz-Mechanikwerkstatt, Lange Point 24
 - **P3:** FHG/IVV, Fraunhofer Gesellschaft, Giggenhauser Straße 35
 - **P4:** TUM, Gebäude 4218, Zierpflanzenbau, Botanik, Mikrobiologie, Emil-Ramann-Straße 4
 - **P5:** TUM, Gebäude 4153, Teilverwaltung TUM (früheres Verwaltungsgebäude der Molkerei), Weihenstephaner Berg 13
 - **P6:** TUM, Gebäude 4307, Tierernährung Versuchsanlage, Liesel-Beckmann-Straße 4
 - **P7:** Bayerische Staatsbrauerei Weihenstephan, Alte Akademie 2
 - **P8:** Wohnheim Vöttinger Straße (Weihenstephan I), Vöttinger Straße 49
 - **P9:** TUM, Gebäude 4317, Neubau Tierwissenschaften, Liesel-Beckmann-Straße 3
 - **PA:** TUM, Gebäude 4378, Heizhaus, Am Staudengarten
 - **PB:** HWST, Gebäude 4375, SVA Lehrstuhl für Bodenkunde und Pflanzen, Am Staudengarten
 - **PC:** HWST, Gebäude 4376, SVA Lehrstuhl für Obstbau und Baumschulung, Am Staudengarten
 - **PD:** TUM, Gebäude 4231/4232/4234/4235, Versuchsgut Dürrnast, Dürrnast 1
 - **PE:** HWST, Gebäude 4383, Fachbereich Gartenbau, Technische Landwirtschaft, Am Staudengarten/Lange Point
 - **PF:** HWST, Gebäude 4379, SVA Lehrstuhl für Zierpflanzenbau, Am Staudengarten/Mozartstraße
 - **PG:** TUM, Gebäude 4213, Lebensmitteltechnikum, Maximus-von-Imhof-Forum 2
 - **PH:** HSWT, Gebäude 4372, Hörsäle L-P, Staatliche Versuchsanstalt, Lehrstuhl für Obstverwertung, Am Staudengarten 12
 - **PI:** TUM, Gebäude 4306, Tierernährung-Hauptgebäude, Liesel-Beckmann-Straße 2
 - **PJ:** HWST, Gebäude 4373, Hörsäle Lange Point, SVA Info-Stelle, Am Staudengarten/Mozartstraße
 - **PK:** HWST, Gebäude 4374, Hörsaal L-P, SVA Institut für Gemüsebau, Stauden und Gehölze, Am Staudengarten 7
 - **PL:** TUM, Gebäude 4386, Lange Point, Am Staudengarten 6
 - **PM:** TUM, Gebäude 4304, Pflanzenbau, Lange Point 51
 - **PN:** HWST, Gebäude 4377, Am Staudengarten
 - **PO:** TUM, Gebäude 4308, Tierernährung-Institutsgebäude, Liesel-Beckmann-Straße 6/Steinbreite
 - **PP:** TUM, Gebäude 4309, Wirtschaftslehre des Gartenbaus, Blumenstraße 16
 - **PQ:** TUM, Gebäude 4313, Zierpflanzenbau, Blumenstraße 12
 - **PR:** HSWT, Gebäude 4179, Pappelallee, Vöttinger Straße
 - **PS:** TUM, Gebäude 4311, Zierpflanzenbau, Blumenstraße 14
 - **PT:** TUM, Gebäude 4108, Alte Akademie 10
 - **PU:** HSWT, Gebäude 4123, Weihenstephaner Berg 4 / Veitsmüllerweg
 - **PV:** HSWT, Gebäude 4171, alte Baumschule, Weihenstephaner Fußweg
 - **PW:** HSWT, Gebäude 4173, HS Institutsgebäude, Weihenstephaner Fußweg 1
 - **PX:** HSWT, Gebäude 4174, HS Bibliothek, Weihenstephaner Fußweg 1
 - **PY:** Wohnheim Lange Point (Weihenstephan III), Lange Point 1-35
 - **PZ:** TUM, Gebäude 4223, Anbau an Gebäude 4219, Genetik, Emil-Ramann-Straße 4
- **Bezirk Q: Campus Weihenstephan 2**
 - **Q0:** TUM, Gebäude 4219, Landpflege und Botanik, Emil-Ramann-Straße 6
 - **Q1:** TUM, Gebäude 4221, Telefonzentrale, Emil-Erlenmeyer-Forum 7
 - **Q2:** TUM, Gebäude 4277, Forstwissenschaft, FVA-Forstwissenschaftliche Versuchsanstalt, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2
 - **Q3:** TUM, Gebäude 4238, Werksfeuerwehr, Emil-Erlenmeyer-Forum 2
 - **Q4:** TUM, Gebäude 4106, Wirtschaftslehre des Landbaus, Alte Akademie 14
 - **Q5:** TUM, Gebäude 4107, Ernährungslehre, Alte Akademie 16
 - **Q6:** IAESTE, Gebäude 4254, Emil-Erlenmeyer-Forum 6

- **Q7:** HWST, Gebäude 4176, Lehrgebäude, Weihenstephaner Fußweg
- **Q8:** TUM, Gebäude 4212, Physik, Chemie, Zentrallaboratorium, Emil-Erlenmeyer-Forum 5
- **Q9:** HSWT, Gebäude 4125, Löwentorggebäude, Weihenstephaner Fußweg
- **QA:** TUM, Gebäude 4124, FML neu-Zentrum für Milch- und Lebensmittel, Weihenstephaner Berg 3
- **QB:** TUM, Gebäude 4130, ehemalige Datenverarbeitung, Weihenstephaner Berg
- **QC:** TUM, Gebäude 4117, Grünlandlehre, Weihenstephaner Steig 19b
- **QD:** TUM, Gebäude 4109, LS f. Maschinenkunde der Brauerei u. Lebensmittelverpackungstechnik, Weihenstephaner Steig 22
- **QE:** TUM, Gebäude 4101, Alte Akademie 3
- **QF:** HSWT, Gebäude 4172, HS-Verwaltung, Weihenstephaner Fußweg 1
- **QG:** TUM, Gebäude 4102, Bibliothek und Dekanatsgebäude, Alte Akademie 8
- **QH:** TUM, Gebäude 4105, Ökologischer Landbau, Grünlandlehre, Alte Akademie 12
- **QI:** TUM, Gebäude 4214, Zentrales Hörsaalgebäude, Maximus-von-Imhof-Forum 6
- **QJ:** HWST, Gebäude 4276, Wald- und Forstwirtschaft, Georg-Dätzel-Straße 5
- **QK:** TUM, Gebäude 4210 Landtechnik, Am Staudengarten 2
- **QL:** TUM, Gebäude 4215, Zentrales Praktikagebäude, Maximus-von-Imhof-Forum 3
- **QM:** TUM, Gebäude 4110, Brauerei I, Weihenstephaner Steig 20
- **QN:** TUM, Gebäude 4119 / 4120, Gregor-Mendel-Straße
- **QO:** TUM, Gebäude 4126, Lebensmittelverfahrenstechnik, Weihenstephaner Berg 1
- **QP:** TUM, Gebäude 4121 / 4122, Landschaftsökologie, Emil-Ramann-Straße 6
- **QQ:** TUM, Gebäude 4115, Senger-Wohnhaus, Weihenstephaner Steig 19
- **QR:** HSWT, Gebäude 4178, Kleine Kustermannhalle, Am Hofgarten 4
- **QS:** TUM, Gebäude 4226, Internationales Getränkewissenschaftliches Zentrum (iGZW), Gregor-Mendel-Straße 4
- **QT:** TUM, Gebäude 4217, Bodenkunde, Emil-Ramann-Straße 2
- **QU:** TUM, Gebäude 4113, Versuchs- und Lehrbrennerei, Mikrobiologie, Weihenstephaner Steig 16
- **QV:** TUM, Gebäude 4116, Kinderkrippe "Kindervilla", Weihenstephaner Steig 17
- **QW:** HSWT Weihenstephan, Neubau Neues Zentrum
- **QX:** TUM, Gebäude 4112, Braufakultät, Weihenstephaner Steig 23
- **QY:** TUM, Gebäude 4220, Bibliothek Neubau, Maximus-von-Imhof-Forum 3
- **QZ:** TUM, Gebäude 4216, Mensa, Maximus-von-Imhof-Forum 3

• **Bezirk R: Hochschule München**

- **RA:** HM, Gebäude A, Lothstraße 34, München
- **RB:** HM, Gebäude B, Dachauerstraße 98, München
- **RC:** HM, Gebäude C, Loristraße 19, München
- **RD:** HM, Gebäude D, Ferdinand-Miller-Platz München
- **RE:** HM, Gebäude E, Dachauerstraße 98b, München
- **RF:** HM, Gebäude F, Karlstraße 6, München
- **RG:** HM, Gebäude G, Lothstraße 34, München
- **RH:** HM, Gebäude H, Lothstraße 13d, München
- **RI:** HM, Erweiterungsbau Bibliothek, München
- **RK:** HM, Gebäude K, Altbau, Am Stadtpark 20, München
- **RL:** HM, Gebäude L, Pasing, Neubau, Am Stadtpark 20, München
- **RM:** HM, Gebäude M, Infanteriestraße 14, München
- **RN:** HM, Gebäude N, Infanteriestraße 13, München
- **RR:** HM, Gebäude R1, R2, R3, Heßstraße 89 / Lothstraße 64, München
- **RS:** HM, Gebäude S, Schachenmeierstraße 35, München
- **RT:** HM, Gebäude T, Neubau, Dachauer Straße 100a, München
- **RV:** HM, Lazarettstraße 67, München
- **RW:** HM, Gebäude W, Lothstraße 21, München
- **RX:** HM, Gebäude 2201/2202, Vorder und Rückgebäude, Lothstraße 17, München
- **RY:** HM, Gebäude Y, Clemensstraße 33, München
- **RZ:** HM, Gebäude Z, Kita Herzerl, Lazarettstraße 60/62, München

• **Bezirk S: LMU, östlich Ludwigstraße, nördlich Adalbertstraße**

- **SA:** LMU, Bauamt, Ludwigstraße 18, München

- **SB:** Staatsbibliothek, Ludwigstraße 16, München
 - **SC:** LMU, Schackstraße 4, München
 - **SD:** LMU, Ludwigstraße 14, München
 - **SE:** Hochschule für Politik, Ludwigstraße 8-10, München
 - **SF:** LMU, Vestibülbau, Ludwigstraße/Prof.-Huber-Pl. 2, München
 - **SG:** LMU Giselastraße 10, München
 - **SH:** LMU, Seestraße 13, München
 - **SI:** Wohnheim Kaulbachstraße, Marie-Antonie Haus, Kaulbachstraße 49, München
 - **SJ:** LMU, Juristisches Seminargebäude, Prof.-Huber-Pl. 2, München
 - **SK:** LMU, Gebäude 0407, Rückgebäude, Ludwigstraße 28, München
 - **SL:** LMU, Gebäude 0410, Vordergebäude, Ludwigstraße 28, München
 - **SM:** LMU Martiusstraße 4, München
 - **SN:** Wohnheim Georgianum, Prof.-Huber-Pl. 1, München
 - **SO:** LMU, Ostasieninstitut, Kaulbachstraße 51a, München
 - **SP:** Historisches Kolleg, Kaulbachstraße 15, München
 - **SQ:** LMU, Kaulbachstraße 45, München
 - **ST:** LMU, (DAF, MCG) Schönfeldstraße 13, München
 - **SU:** LMU, Jura, Veterinärstraße 1, München
 - **SV:** LMU, Jura, Veterinärstraße 5, München
 - **SW:** Johannes-Hanselmann-Haus, Kaulbachstraße 25, München
 - **SX:** MGH, Monumenta Germaniae Historica, Kaulbachstraße 19, München
 - **SY:** Hochschule für Philosophie, Institut für Gesellschaftspolitik, Kaulbachstraße 31, München
- **Bezirk T: LMU, Innenstadtkliniken**
 - **TA:** LMU, Augenklinik, Mathildenstraße 8, München
 - **TB:** LMU, Zahnklinik, Goethestraße 68, München
 - **TC:** LMU, Chirurgische Klinik, Nussbaumstraße 20, München
 - **TD:** LMU, Frauenlobstraße 7a, München
 - **TE:** LMU, Schillerstraße 42-46, München
 - **TF:** LMU, Innenstadtkliniken, Bavariaring 19, München
 - **TG:** LMU, Gebäudekomplex Bereich Physiologie, Goethestraße 33, München
 - **TH:** LMU, Medizinische Lesehalle, Beethovenplatz 1, München
 - **TL:** LMU, Gebäudekomplex Nervenklinik, Nussbaumstraße 7, München
 - **TM:** LMU, Frauenklinik, Maistraße 11, München
 - **TP:** LMU, Kreislaufprophylaxe + Bauamt, Pettenkoferstraße 9, München
 - **TQ:** LMU, Theoretische Institute, Pettenkoferstraße 12, München
 - **TR:** LMU, Theoretische Institute, Pettenkoferstraße 14, München
 - **TS:** LMU, Königliche Anatomie, Gebäudekomplex zw. Schiller- und Goethestraße, Pettenkoferstraße 11, München
 - **TW:** LMU Klinikum, Campus Innenstadt, Lindwurmstraße 2a, München
 - **TZ:** LMU, Klinikum, Ziemssenstraße 1, München
- **Bezirk U: Wissenschaftszentrum Straubing (TUM+HSWT)**
 - **UA:** WZS, Straubing Neubau, Schulgasse 16, Straubing
 - **UB:** Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe, Schulgasse 18, Straubing
 - **UC:** WZS, Straubing Klostertrakte, Petersgasse 18, Straubing
 - **UD:** WZS, Straubing Fraunhofer Institut Projektgruppe BioCat, Schulgasse 16, Straubing
 - **UE:** WZS, ehemalige VHS, Schulgasse 22, Straubing
- **Bezirk V: LMU, Oberschleißheim**
 - **VC:** LMU, Oberschleißheim Container, Schönleutnerstraße 8
 - **VH:** LMU, Versuchsgut St. Hubertus, St. Hubertusstraße 12 Oberschleißheim
 - **VM:** LMU, Moorversuchsgut Badersfeld, Hackerstraße 27 Oberschleißheim
 - **VP:** LMU, Reptilienklinik Oberschleißheim (geplant)
 - **VR:** LMU, Klauentierklinik, Sonnenstraße 16 Oberschleißheim
 - **VS:** LMU, Schleicherbau, Schönleutnerstraße 8 Oberschleißheim
 - **VV:** LMU, Geflügelkrankheiten, Veterinärstraße 3 Oberschleißheim

- **VW:** Wohnheim Oberschleißheim, Am Schäferanger 9-15 Oberschleißheim
- **Bezirk W: Garching Hochschulgelände 2**
 - **W0:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 0 5510), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W1:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 1 5501), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W2:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 2 5502), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W3:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 3 5503), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W4:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 4 5504), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W5:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 5 5505), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W6:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 6 5506), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W7:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 7 5507), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W8:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 8 5508), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **W9:** TUM, Gebäude 5500 (Bauteil 9 5509), Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **WA:** TUM, Gebäude 5222, FRM II, Zugangshalle, Lichtenbergstraße 1
 - **WB:** TUM, Gebäude 5220, FRM II, Neutronenleiterhalle, Lichtenbergstraße 1
 - **WC:** LRZ, Institutsgebäude 2, Boltzmannstraße 1
 - **WD:** Studentenhaus DOMINO, Untere Straßäcker 21
 - **WE:** Gebäude 7901, Speicherbibliothek der Bayerischen Staatsbibliothek, Römerhofweg 66
 - **WG:** GATE, Gründerzentrum, Lichtenbergstraße 8
 - **WH:** Hochschulhaus Garching, Enzianstraße 5+7
 - **WI:** TUM, Gebäude 5600, Informatik / Mathematik, Boltzmannstraße 3
 - **WK:** TUM, Exzellenz-Cluster Universe (ehem. ITER-Gebäude), Boltzmannstraße 2
 - **WL:** LRZ, Institutstrakt, Boltzmannstraße 1
 - **WN:** TUM, Gebäude 5131, Industrielles Anwenderzentrum (IAZ), Walter-Meißner-Straße 7
 - **WO:** Business Campus Garching I, Parking 4
 - **WP:** LMU, Physik Tandemlabor, Am Coulombwall 6
 - **WQ:** TUM, Gebäude 5301, IAS-Gebäude, Lichtenbergstraße 2a
 - **WR:** LRZ, Rechnerwürfel, Boltzmannstraße 1
 - **WS:** TUM, Halle 17, Maschinenwesen, Boltzmannstraße 15
 - **WT:** Pflanzenöltankstelle Parkplatz, Ludwig-Prandtl-Straße
 - **WU:** Garching U-Bahnhof Forschungsgelände, Boltzmannstraße 4
 - **WV:** Campus Garching, GE Global Research, Freisinger Landstraße 50
 - **WX:** TUM, Oskar-von-Miller-Turm (Wetterturm), Ludwig-Prandtl-Straße
 - **WY:** Tritron-Hütte (bei Beschleunigerlabor), Am Coulombwall
 - **WZ:** LRZ, Hörsaaltrakt, Boltzmannstraße 1
- **Bezirk X: Kleinere Unterbezirke 1**
 - **X0:** Regionales Rechenzentrum Universität Erlangen, Martensstraße 1, Erlangen
 - **X1:** Studentenwohnheim Deutsche Burse, Friedrichstraße 34, München
 - **X2:** Studentenwohnheim Frauendorfer-Haus, Notburgastraße 19-23, München
 - **X3:** Bayerisches Armeemuseum, Paradeplatz 4, Ingolstadt
 - **X4:** Neues Museum Nürnberg, Luitpoldstraße 5 Nürnberg
 - **X5:** Deutsches Theatermuseum, Galeriestraße 4a (Hofgartenarkaden)
 - **X9:** TUM, Feldstation Mülverstedt, Am Burghof 3 Mülverstedt
 - **XA:** TUM, TU-Verwaltung, Augustenstraße 44, München
 - **XB:** Bischöfliches Ordinariat München, Maxburgstraße 2, München
 - **XC:** TUM, Kloster Raitenhaslach Burghausen
 - **XD:** Fortiss-Institut, UCC, Guerickestraße 25, München
 - **XE:** LMU, Universitätsarchiv + Physik, Edmund-Rumpler-Straße 9, München
 - **XF:** LMU, ifo-Institut, Poschingerstraße 5, München
 - **XG:** Gasteig, Hochschule für Musik und Theater, Rosenheimer Straße 5, München
 - **XH:** TUM, Außenstelle der FZG in Augsburg, Beim Glaspalast 1, Augsburg
 - **XJ:** Wohnheim Josef-Wirth-Weg 19, München
 - **XK:** Bayerisches Kultusministerium, Salvatorstraße 2, München
 - **XL:** TUM, LMU, HM Ludwig Bölkow Campus, Willy-Messerschmidt-Straße 1, Ottobrunn
 - **XM:** Wohnheim Moosacher Straße 81, München

- **XN:** LMU, Geophysik Außenstelle Unterlippach, Unterlippach (Gemeinde Furth) Unterlippach
 - **XO:** Oberste Baubehörde, Franz-Josef-Strauß-Ring 4, München
 - **XP:** LMU, Planegg, Fraunhoferstraße 12, Planegg
 - **XQ:** Wohnheim Heinrich-Groh-Straße 17, München
 - **XR:** LMU, Edmund-Rumpler-Straße 13, München
 - **XS:** LMU/TUM, Schneefernerhaus Zugspitze, Zugspitze 5, Zugspitze
 - **XU:** Wohnheim Oskar-von-Miller-Forum (Haus der Bay. Bauwirtschaft), Amalienstraße 13, Oskar-von-Miller-Ring 25, München
 - **XV:** Studentenwohnheim Freimann, Josef-Wirth-Weg 21, München
 - **XW:** MPI für Psychiatrie, Kraepelinstraße 10, München
- **Bezirk Y: Kleinere Unterbezirke 2**
 - **Y0:** Studentinnenheim Arme Schulschwestern Unterer Anger 17, München
 - **Y7:** Wohnheim Schwere-Reiter-Straße / Uni-Radio, Stettenkaserne, Schwere-Reiter-Straße 35, München
 - **Y8:** St-Albertus-Magnus-Haus, Avenariusstraße 15, München
 - **Y9:** Studentinnenheim Arme Schulschwestern Unterer Anger 2, München
 - **YA:** TUM, School of Education, Schellingstraße 33, München
 - **YB:** LMU, Gebäude 3102 / 3103, Botanik, Menzinger Straße 67, München
 - **YC:** TUM, Gebäude 0602 / 0603, Klinikum Biederstein, Biedersteiner Straße 29, München
 - **YD:** John-Mott-Haus, Theo-Prosel-Weg 16, München
 - **YE:** LMU, Schwere Reiter Straße 9 Nord München
 - **YF:** HM, Gebäude 2201/2202, Vorder und Rückgebäude, Lothstraße 17, München
 - **YG:** AFK, Rosenheimer Straße 145, München
 - **YH:** LMU, Bad Tölz, Prof.-Max-Lange-Platz 11 Bad Tölz
 - **YI:** LMU, Tiermedizin, Schwere-Reiter-Straße 9 Süd München
 - **YJ:** ABK, Akademie der Bildenden Künste, Akademiestraße 2, München
 - **YK:** LMU, Maria-Ward-Straße 1a (zurzeit nicht belegt) München
 - **YM:** Stiftung für Arbeitsrecht (ZAAR), Destouchesstraße 68, München
 - **YN:** TUM, Klinikum Schwabing, Kölner Platz 1, München
 - **YO:** TUM, Gebäude 3101-3120, Versuchsanstalt für Wasserbau Oberrach Walchensee (Oberrach)
 - **YP:** ISB und IFP, Schellingstraße 155, München
 - **YQ:** TUM, Gebäude 2401, Winzererstraße 45, München
 - **YR:** TUM, Gebäude 2805, Bauklimatik und Haustechnik, Karl Benz Straße 15, Dachau
 - **YS:** LMU, Ludwigshöhe 8 Fürstenfeldbruck
 - **YT:** Wohnheim Biedersteiner Straße, Biedersteinerstraße 24 - 30a, München
 - **YU:** LMU/TUM, Gebäude 2804, Deutsches Museum, Museumsinsel 1, München
 - **YV:** Spanisches Kolleg, Dachauerstraße 145, München
 - **YW:** LMU, CAP, Maria-Theresia Straße 21, München
 - **YY:** MPI, für Physik, Föhringer Ring 6, München
 - **YZ:** IWB, Anwenderzentrum, Beim Glaspalast 5, Augsburg
 - **Bezirk Z: Kleinere Unterbezirke 3**
 - **Z0:** Wohnheim Chiemgaustraße, Traunsteiner Straße 1 - 13, München
 - **Z1:** Studentenstadt Freimann, Christoph-Probst-Straße 10, München
 - **Z2:** TUM, Limnologische Station, Iffeldorf, Hofmark 3, Iffeldorf
 - **Z3:** Studentenwohnheim Lothstraße 62, München
 - **Z4:** Wohnheim Kreittmayrstraße 14, München
 - **Z5:** Wohnheim Agnes-/Adelheidstraße und Internationales Haus, Adelheidstraße 13, 17 Agnesstraße 31-35, München
 - **Z6:** Studentenwohnheim Haidpark, Admiralbogen 37-47, München
 - **Z7:** Studentenwohnheim Felsennelkenanger (FNA, Panzerwiese), Felsennelkenanger 7-21, München
 - **ZA:** Stiftung Maximilianeum, Max-Planck-Straße 1, München
 - **ZB:** TUM, Marsstraße 20-22, München
 - **ZD:** Wohnheim Türkenstraße, Türkenstraße 58, München
 - **ZE:** Massmannwohnheim, Heßstraße 77, München
 - **ZG:** Wohnheim Heidemannstraße, Paul-Hindemith-Allee 4 und 6 Karl-Köglsperger-Straße 3 - 9, München
 - **ZH:** DHM, Deutsches Herzzentrum, Lothstraße 11, München

- **ZI:** IHF, Institut für Hochschulforschung, Prinzregentenstraße 24, München
- **ZJ:** LMU, Sternwarte, Scheinerstraße 1, München
- **ZK:** Johann-Michael-Sailer-Haus (Kath. SFH), Preysingstraße 93a, München
- **ZL:** LMU, Observatorium Wendelstein Bayrischzell
- **ZM:** TUM, Pasing, Baumbachstraße 7, München
- **ZN:** Katholisches Studentenwohnheim Paulinum, Rambergstraße 6, München
- **ZO:** Hugo-Maser-Haus (Arcisheim), Arcisstraße 31, München
- **ZP:** Bayerische Theaterakademie August Everding im Prinzregententheater, Prinzregentenplatz 12, München
- **ZR:** TUM, Betriebswirtschaftslehre, Leopoldstraße 139-145, München
- **ZS:** TUM, Gebäude 3201, Geodäsie, Außenstelle Eichenau, Lindenweg 15, Eichenau
- **ZT:** LMU, Zentnerstraße 31, München
- **ZU:** Wohnheim Stiftsbogen, Schröfelhofstraße 4-26a, München
- **ZV:** Oekumenisches Studentenwohnheim, Oek-Heim, Steinickeweg 4, München
- **ZW:** TUM, Lst. Restaurierung, Nationalmuseum, Archäologische Staatssammlung, Oettingenstraße 15, München
- **ZY:** TUM, Gebäude 2103-2109, Verbrennungskraftmaschinen, Schragenhofstraße 31, München
- **ZSM, Zoologische Staatssammlung, Münchhausenstraße 21, München**