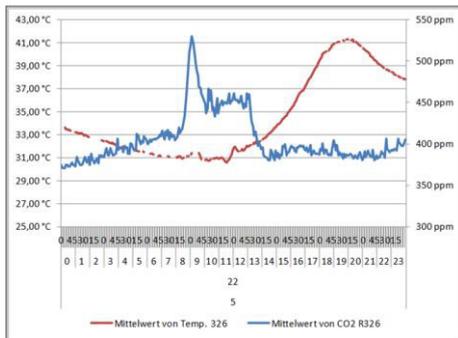
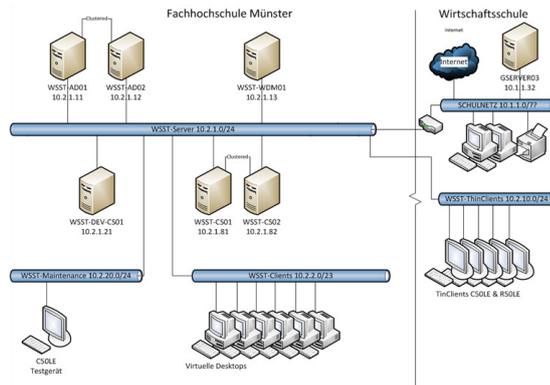


Energieeffiziente Computertechnik in Schulen

am Beispiel der Wirtschaftsschule Steinfurt



Gefördert durch das
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

BMU -UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Energieeffiziente
Computertechnik an Schulen“
MBc3-001753 (bisher MBe1-
001753)

Fördernehmer/-in:

Kreis Steinfurt

Umweltbereich

Energie

Laufzeit des Vorhabens

Januar 2012 – Dezember 2012

Autor

Dipl.-Wirt. Andreas Bennemann

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

17. Juli 2014



Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: UBA	Vorhaben-Nr.: MBc3 - 001753
Titel des Vorhabens: Energieeffiziente Computertechnik in Schulen	
Autor(en); Dipl.-Inform. Bajohr, Markus Studiendirektor Schürmeier, Claus Dipl.-Wirting. Bennemann, Andreas	Vorhabensbeginn: 10. Januar 2012
	Vorhabenende: 31. Dezember 2012
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) Landrat des Kreises Steinfurt Thomas Kubendorff Tecklenburger Str. 10 48565 Steinfurt	Veröffentlichungsdatum: 01.08.2014
	Seitenzahl: 46
Gefördert (aus der Klimaschutzinitiative) ¹ im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung/Summary Die Umrüstung von üblichen Fat Clients auf Thin Clients in den PC-Räumen in Schulen kann zu einer fünfzigprozentigen Stromeinsparung führen, sofern die Servereinheiten außerhalb der Unterrichtszeiten abgeschaltet werden (können). Hardwaremehrkosten sind für die Umrüstung auf Thin Clients statt auf übliche Fat Clients grundsätzlich nicht zu verzeichnen. Eine nennenswerte Reduzierung der thermischen Belastung der Klassenräume konnte nicht verzeichnet werden.	
Schlagwörter PC-Raum, Schule, Thin Client, Fat Client, Stromeinsparung, thermische Belastung	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 4 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.kreis-steinfurt.de

¹ soweit zutreffend bitte einfügen



Inhalt

1. Einleitung.....	8
1.1 Problem und Lösungsansätze.....	8
1.2 Dokumentation.....	10
1.2.1 Erfassung der raumklimatischen Daten.....	10
1.2.2 Informationsaustausch.....	11
2. Hardware.....	12
2.1 Fat Clients im Referenzraum.....	12
2.2 Thin Clients Wyse C50 LE.....	13
2.3 Kosten des Projekts.....	14
3. Daten.....	16
3.1 Stromverbrauch.....	16
3.2 Temperaturen.....	20
3.3 CO ₂ -Gehalt.....	27
3.4 Luftfeuchtigkeit.....	28
3.5 Subjektives Empfinden der Nutzer.....	30
3.5.1 Temperaturempfinden.....	31
3.5.2 Luftqualität.....	32
3.5.3 Rechnerleistung.....	33
3.5.4 Resümee.....	34
4. Technische Umsetzung und Administration der VDI.....	35
4.1 Aufbau der Netz-Infrastruktur.....	35
4.2 Aufbau der Server-Infrastruktur.....	38
4.3 Integration der Desktops in die VDI.....	39
4.4 Der Anmeldevorgang im Detail.....	40
4.5 Performance und Leistungsdaten.....	43
5. Resümee.....	45
5.1 Fazit der Schule.....	45
5.2 Fazit des Schulträgers.....	46
Impressum.....	48



1. Einleitung

1.1 Problem und Lösungsansätze

Der Kreis Steinfurt betreibt als Schulträger sechs Berufskollegs für knapp 13.000 Schüler. Der Stromverbrauch dieser Liegenschaften betrug 2012 ohne Sporthallen 1.718 MWh. Dadurch wurden rund 1.000 Tonnen CO₂ emittiert. Die Stromkosten betragen ca. 350.000 €.

Ein großer Teil dieses Verbrauchs entsteht durch die Versorgung der rund 80 Computerräume mit ca. 2.000 PC. Der in den PC verbrauchte Strom wird zum überwiegenden Teil durch elektrischen Widerstand in Wärme umgewandelt. Infolge der zunehmenden energetischen Ertüchtigung der Schulgebäude wird diese Wärme immer weniger durch Transmissionsverluste nach außen getragen, sondern verbleibt in den Räumen. Die Anzahl der Beschwerden durch Lehrer/Lehrerinnen und Schüler/Schülerinnen über die überhitzten PC-Räume steigt deshalb an. Klassisch werden Räume durch Klimageräte herunter gekühlt. Dieses würde in dem Fall der PC-Räume bedeuten, dass die durch Strom erzeugte Wärme wiederum durch zusätzlichen Stromaufwand aus den Räumen abgeleitet würde. Die Lösung des Problems geht deshalb in die Richtung, den Stromverbrauch zu reduzieren und damit auch gleichzeitig den Wärmeeintrag zu minimieren.

Der Gebrauch des PC in den Berufskollegs des Kreises Steinfurt hat sich in den vergangenen Jahren erheblich gewandelt. Wurde der PC in früheren Zeiten hauptsächlich als „Rechenknecht“ benötigt, so liegt der Schwerpunkt heute in der Informationsversorgung und Informationsspeicherung. Dieses führt dazu, dass die Ausführung von Programmen überwiegend zentral auf Servern erfolgt. Die „vor Ort“ in den PC (Fat Client) erforderliche Rechenleistung und das Speichervolumen sind nur noch geringfügig. Der PC erbringt im Wesentlichen nur noch die Aufgabe des Dialogs zwischen dem User und dem Server durch Tastatur, Maus und Bildschirm. Diese Aufgabe kann jedoch durch andere Lösungen in gleicher Qualität erbracht werden. Es entstand die Idee, die Arbeitsplätze von Fat Clients auf Thin Clients umzustellen. Diese versprechen einen erheblich geringeren Stromverbrauch, einen reduzierten Wärmeeintrag, eine längere Nutzungsdauer und eine zentrale Administration. Kurzum: Der Aufwand soll sich in den meisten Bereichen minimieren.

Die Wirtschaftsschule Steinfurt wurde 2007 bis 2009 umfangreich saniert. Anschließend stellten sich Beschwerden der Lehrer/Lehrerinnen und Schüler/Schülerinnen über überhitzte PC-Räume ein, die auch schon vor der Sanierung als PC-Räume genutzt worden sind. Durch Messungen während der Bauphase wurde festgestellt, dass in Einzelfällen bereits morgens um 10 Uhr bei einer Außentemperatur von 25 °C eine Innenraumtemperatur von ca. 40 °C erreicht wurde. Da im Zuge der Sanierung einzelne Klassenräume über Sensoren an die Gebäudeleittechnik angebunden wurden, die Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und CO₂-Gehalt der Luft erfassen, bot es sich an, die Auswirkung einer Umrüstung von Fat Clients auf Thin Clients hierüber zu erfassen. Der Raum 326 im dritten Obergeschoss des Hauses I wurde umgerüstet. Der daneben liegenden PC-Raum 325 wurde EDV-technisch nicht verändert, aber messtechnisch als Referenzraum ebenfalls erfasst. Der Wechsel zu Thin Clients lässt eine Reduzierung des Stromverbrauchs und der Raumtemperatur des Raums 326 erwarten.

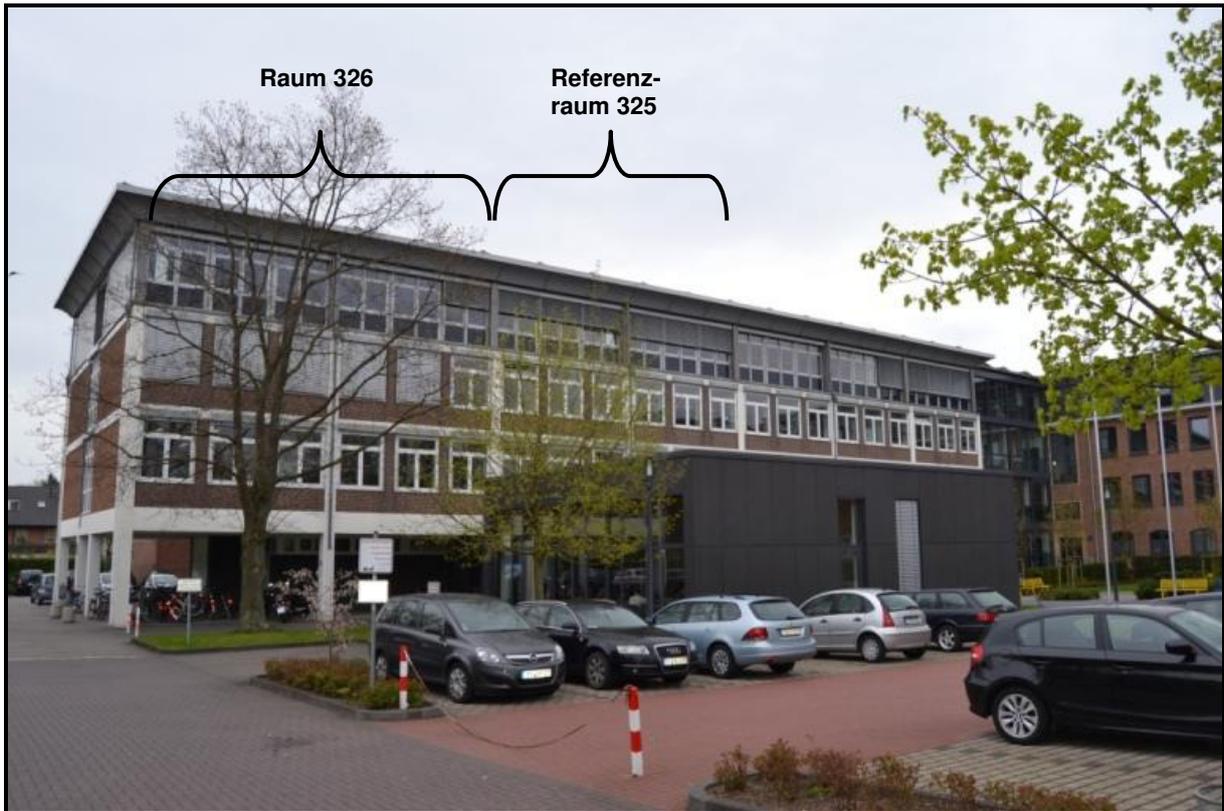


Abbildung 1: Haus II der Wirtschaftsschule mit den beiden untersuchten PC-Räumen im obersten Geschoss.



Abbildung 2: Grundriss des umgerüsteten Raums 326 (rot) und des daneben liegenden Referenzraums 325 (grün)



Abbildung 3: Umgerüsteter PC-Raum 326

Der Kreis Steinfurt hat bei mehreren Gelegenheiten mit der Fachhochschule Münster kooperiert. Die Fachhochschule hat den überwiegenden Teil ihrer PC-Landschaft bereits auf die zentrale Bereitstellung von Anwendungen umgestellt. Die Fachhochschule hatte ein großes Interesse an dem Projekt und bot ihre Erfahrung und Kompetenz für dieses Projekt an. Die Kooperation fand in der Weise statt, dass die Fachhochschule die Serveradministration begleitete.

Da das Projekt auf praktisch alle Schulen, zumindest der Sekundarstufe, übertragbar erscheint, war von Anfang an der Gedanke für das Projekt prägend, dass die Ergebnisse für andere Schulträger und Schulen publiziert werden sollen. Aus diesem Grund wurde eine Förderung hierfür beantragt. Das Bundesumweltministerium gab eine Zusage zur Förderung von 30 % der Gesamtkosten.

1.2 Dokumentation

1.2.1 Erfassung der raumklimatischen Daten

Das Schulgebäude wurde von 2008 bis 2009 umfangreich saniert. In diesem Zuge wurden in beiden Räumen zahlreiche Sensoren installiert, und erfassen folgende Werte:



Abbildung 4: Messampel mit drei Fühlern für Raumtemperatur, CO₂-Gehalt und relative Luftfeuchtigkeit

- Außentemperatur;
- Innentemperatur;
- CO₂-Gehalt der Raumluft;
- relativer Luftfeuchtigkeitsgehalt der Raumluft.

Der Sensor befand sich in 1,30 m Höhe und versprach damit den repräsentativsten Wert.

Anfänglich wurde in einem Intervall von 30 Sekunden gemessen. Angesichts des erheblichen Datenvolumens wurde ab dem 05. Mai das Zeitintervall auf fünf Minuten gestreckt. Das Datenvolumen beträgt 221.165 Zeilen bzw. 884.660 Messwerte.

Die Messungen begannen am 10. Januar 2012 um 14:37 Uhr und endeten am 31.12.2012. um 23:55 Uhr.

Insgesamt wurden 81 % des Jahres messtechnisch erfasst.

Die Sensoren wurden vor der Messphase kalibriert, so dass Messfehler außerhalb der üblichen Messtoleranz weitgehend ausgeschlossen werden können. Die Auswertung berücksichtigte die Schulzeiten (montags bis freitags von 7 bis 15 Uhr außerhalb der Ferienzeiten).

1.2.2 Informationsaustausch

Von Beginn an war die Kooperation zwischen Nutzer (Wirtschaftsschule), Fachhochschule Münster und Schulträger (Kreis) das wesentliche Element in dem Projekt. In einem Arbeitskreis wurde das Vorgehen abgestimmt und die Ergebnisse kreisweit den IT-Lehrern der Berufskollegs publiziert. Teilnehmer des Arbeitskreises waren:

- Wirtschaftsschule (Schulleiter, Abteilungsleiter und stv. Abteilungsleiter für Informatik);
- Fachhochschule Münster, Datenverarbeitungszentrale;
- IT-Management der Kreisverwaltung Steinfurt;
- Schul-, Kultur- und Sportamt des Kreises Steinfurt;
- Gebäudewirtschaft der Kreisverwaltung Steinfurt.

Der Arbeitskreis tagte sechs Mal. Damit alle zeitnah Zugriff auf alle wesentlichen Informationen haben, wurde von der Fachhochschule eine Wiki-Plattform mit Zugriffsberechtigung für alle Beteiligten erstellt.

2. Hardware

2.1 Fat Clients im Referenzraum

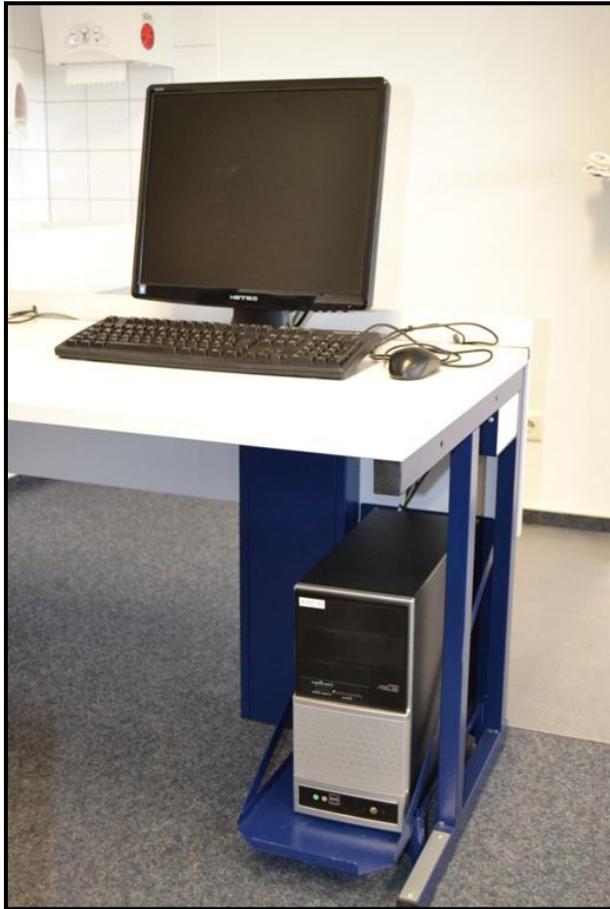


Abbildung 6: Im Referenzraum 325 eingesetzter FatClient

Der Raum 325 dient als Referenzraum für die Ermittlung der Wirksamkeit der Maßnahmen und ist mit handelsüblichen PC ausgestattet. Die gemessene Leistungsaufnahme des Fat Clients (ASUS Vintage V3-P5P43) beträgt im Standby-Betrieb rund 8 Watt und unter Last ca. 70 Watt. Der Monitor hat eine Leistungsaufnahme von 2 Watt im Standby und 26 Watt im Normalbetrieb. Damit beträgt die Gesamtleistung im Raum 325:

Gerät	Standby-Modus	Normalbetrieb
26 Stück Fat Clients	208 Watt	1.820 Watt
26 Stück Monitore	52 Watt	676 Watt
Gesamt	260 Watt*	2.496 Watt

*Inwieweit die Monitore und Rechner nach dem Unterricht stromlos geschaltet wurden, war von den einzelnen Lehrern abhängig. Es zeigte sich, dass das Verhalten der Lehrer/Lehrerinnen in dieser Hinsicht sehr unterschiedlich ist.

2.2 Thin Clients Wyse C50 LE

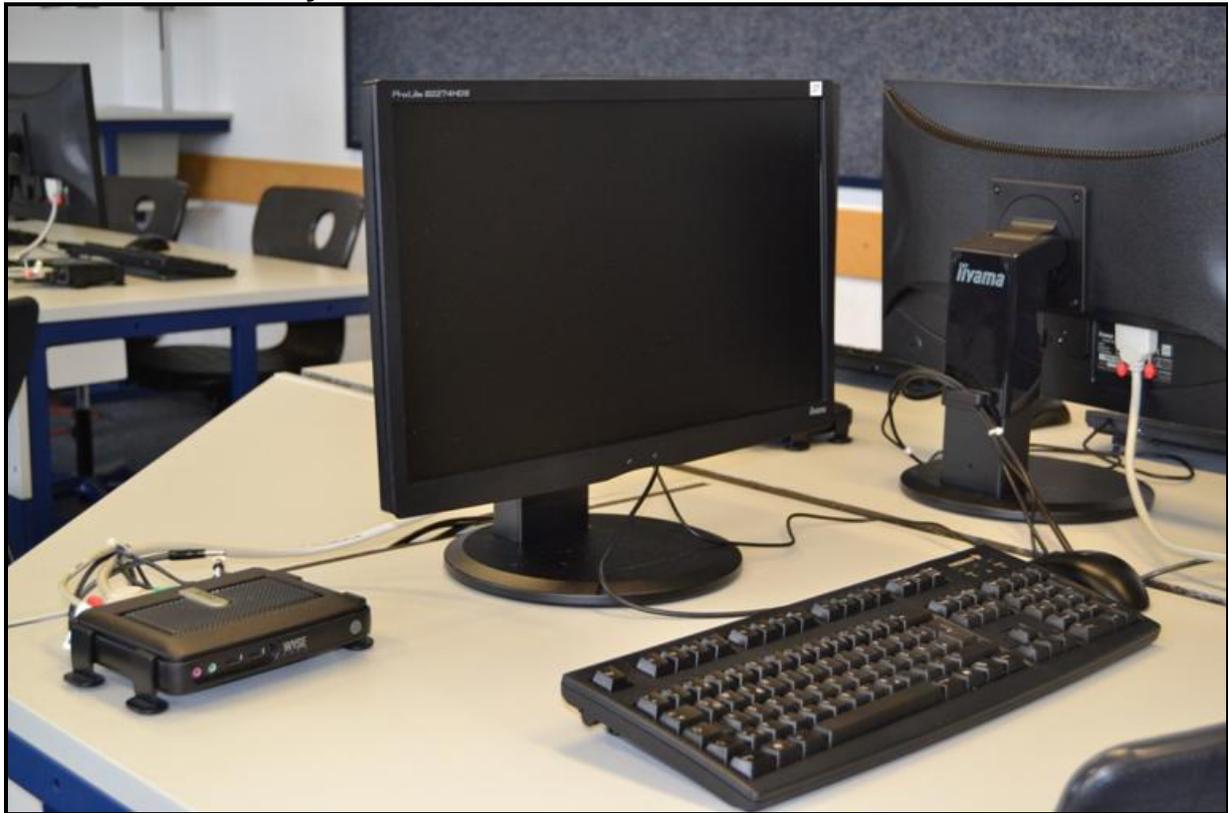


Abbildung 7: Eingesetzter Thin Client Wyse C50 LE

Im untersuchten Raum 326 wurden die bisher genutzt PC und Monitore durch neue Thin Clients und Flachbildschirme ersetzt. Der C50 LE benötigt im Standby-Modus 1 Watt und unter Last 10 Watt gemessene Leistung. Der R50 LE benötigt im Standby-Betrieb 1 Watt und im Normalbetrieb 17 Watt Leistung. Der Monitor (iiyama ProLite B2274 HDS) benötigt 0,1 Watt im Standby-Modus und im Normalbetrieb 17 Watt Leistung. Damit beträgt die Gesamtleistung im Raum 326:

Gerät	Standby-Modus	Normalbetrieb
15 Stück C50 LE	15 Watt	150 Watt
16 Stück R50 LE	16 Watt	272 Watt
31 Stück Monitore	3 Watt	527 Watt
Gesamt	34 Watt	949 Watt

Die Differenz des Energieverbrauchs zwischen den beiden Räumen beträgt somit:

	Standby-Modus:	Normalbetrieb:
Raum 325:	260 Watt	2.496 Watt
Raum 326:	<u>34 Watt</u>	<u>949 Watt</u>
Differenz:	226 Watt	1.547 Watt

Die tatsächliche Stromeinsparung – ermittelt aus den Messungen (siehe Abschnitt 3.1 Stromverbrauch) – beträgt rund 1.000 kWh. Daraus lässt sich rechnerisch die durchschnittliche Betriebsdauer der Räume ermitteln:

1.000 kWh / 1,547 Kilowatt \approx 650 Stunden
(entspricht ca. 870 Unterrichtsstunden p.a. bzw. rund 20 Unterrichtsstunden pro Woche)



Auch wenn die Berechnung eher als theoretisch denn als praktisch zu ermittelnder Wert der Unterrichtszeit zu bewerten ist, erscheint die Nutzungsdauer plausibel.

Diese Berechnung unterschlägt die Betriebsdauer des Standby-Modus, da in der Wirtschaftsschule grundsätzlich nach dem Unterricht die PC zentral stromlos geschaltet werden. Anders ausgedrückt: der geringere Stromverbrauch der ThinClients im Standby-Modus spielt bei zentraler Stromlosschaltung praktisch keine Rolle.

Der Klassenraum 326 hat eine Fläche von 75,26 m², der Referenzraum 325 eine Fläche von 58,35 m². Flächenbezogen ergibt sich im Normalbetrieb eine thermische Belastung durch die IT-Geräte von

Raum 326: 13 Watt je m²

Raum 325: 43 Watt je m².

Die Differenz beträgt folglich rund 30 Watt je m² oder rund 65 Watt je Bildschirmarbeitsplatz.



Abbildung 8: Eingesetzter Thin Client Wyse R50 LE

2.3 Kosten des Projekts

Im Folgenden sollen für interessierte Schulträger die Kosten der Umrüstung dargestellt werden.

Zwischen der Wirtschaftsschule und dem Server der Fachhochschule musste eine leistungsfähige Datenleitung geschaffen werden. Die Stadtwerke Steinfurt GmbH als



lokaler Versorger stellte einen Glasfaseranschluss bis in den Keller des Schulgebäudes her. Die Kosten betragen 1.785 €¹.

Des Weiteren fielen Kosten für die hausinterne Verlegung eines Datenkabels zwischen dem Glasfaserhausanschluss und dem Switch in Höhe von 1.624 € an.

Wie unter Kapitel 4.2 näher erläutert, wurde als Virtual Desktop Infrastructure (VDI) VMWare V5.2 genutzt. Die Lizenzkosten wurden dem Kreis mit Hinweis auf den Pilotcharakter des Projekts erlassen.

Die Monitore – iiyama ProLite B2274 HDS, 21,5 Zoll, Auflösung: 1.920 x 1.080 Widescreen, Reaktionszeit: 2 ms, Hintergrundbeleuchtung: White-LED – kosteten inklusive SVGA-Monitorkabel und DVI-D- DualLink-Kabel 172,28 € brutto je Stück (Dezember 2011).

Die ThinClients kosteten (Dezember 2011):

WYS TCL R90L7, 1,5 GHz, 4 GB Flash, 2 GB RAM:	452,20 € brutto je Stück;
WYS TCL C50LE, 1 GHz, 1 GB Flash, 1 GB RAM:	226,10 € brutto je Stück.

Folglich kostete die Umrüstung des Klassenraums inklusive Glasfaseranschluss:

Monitore:	31 x 172,28 €	=	5.340,68 €
Lizenzkosten VDI		=	0,00 €
R90-Clients	16 x 452,20 €	=	7.235,20 €
C50- Clients	15 x 226,10 €	=	3.391,50 €
Glasfaserkabel hausintern		=	1.623,46 €
Erdarbeiten		=	<u>1.785,00 €</u>
Gesamt:			19.375,84 €

Da sich die C50LE-Clients für die Anwendungen der Wirtschaftsschule als völlig ausreichend auszeichneten, ist eine weitere Verringerung der Kosten möglich.

Zu berücksichtigen sind weiterhin Kosten für den Betrieb der Server. Diese Kosten sind bei diesem Projekt in den Support-Gebühren der Fachhochschule Münster enthalten und können deshalb nicht separat ausgewiesen werden.

Unberücksichtigt bleiben an dieser Stelle die Kosten für die Administration durch die Datenverarbeitungszentrale der Fachhochschule Münster in Höhe von 5.500 € monatlich während der Projektphase sowie die Kosten für die Einrichtung der Messeinrichtungen zur Überwachung von Temperaturen, CO₂-Gehalt, Luftfeuchtigkeit und Stromverbrauch, da diese Kosten hauptsächlich dem Pilotprojektcharakter geschuldet sind. Sofern neben pädagogischen und organisatorischen Gründen ökonomische Betrachtungen in die Entscheidung für die Umrüstung einfließen, sind diese Kosten dennoch zu berücksichtigen. Eine allgemeingültige Aussage lässt sich an dieser Stelle nicht treffen, da die individuelle Situation der Administration – durch Lehrer, durch Bedienstete des Schulträgers,

¹ Dieses ist ein Sonderpreis der Stadtwerke Steinfurt als Glasfasernetzbetreiber.



durch Dritte, im Rahmen eines bereitgestellten Serverpools etc. – erheblichen Einfluss auf die Kosten hat.

3. Daten

3.1 Stromverbrauch

Zur Ermittlung des Stromverbrauchs wurden zwei separate Zähler in der Unterverteilung eingebaut, die den Stromverbrauch nur der PC und Monitore in den beiden Räumen erfassten. Die Zählerstände wurden zwischen dem 18. April 2012 und dem 12. Juni 2012 täglich manuell erfasst.



Abbildung 9: Installierter Unterzähler für den Raum 326 im Schaltschrank der Unterverteilung

Eine Lastgangmessung war nicht möglich. Da der Stromverbrauch nicht witterungsabhängig ist, reichte diese eingeschränkte Erfassung dennoch aus, um eine belastbare Auswertung vorzunehmen. Der Stromverbrauch in den Räumen wurde zur einheitlichen Beurteilung auf den Wert Kilowattstunde je Stunde (kWh/h) umgerechnet. Über den Zeitraum von zwei Monaten zeigte sich folgender Verlauf:

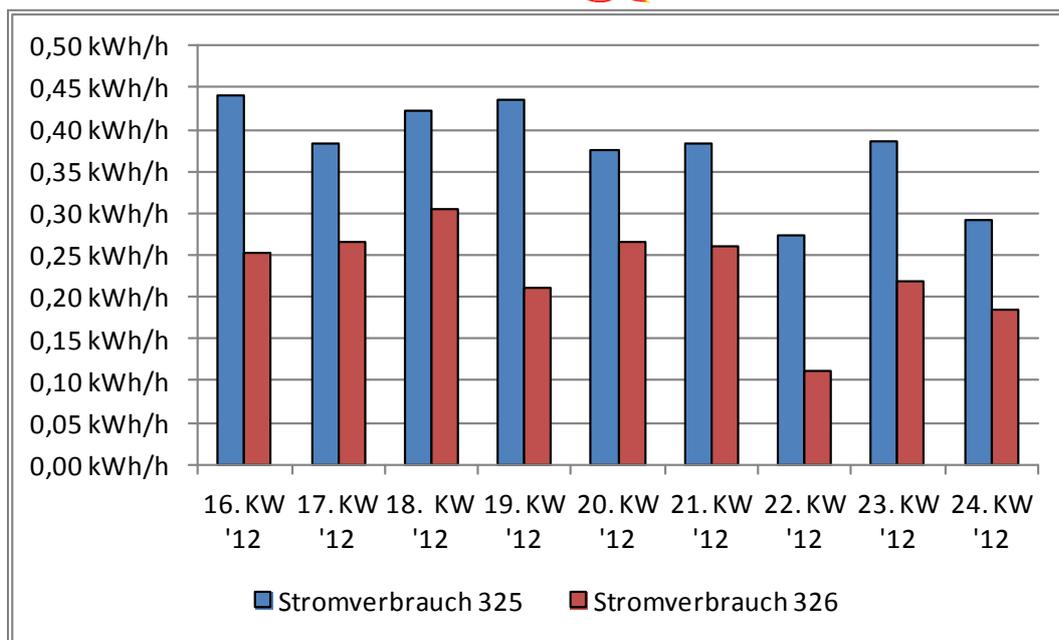


Abbildung 10: Stromverbrauch in den beiden Räumen über einen Zeitraum von zwei Monaten

Kalenderwoche	Stromverbrauch Raum 325	Stromverbrauch Raum 326	Differenz
16. KW 2012	0,44 kWh/h	0,25 kWh/h	-43 %
17. KW 2012	0,38 kWh/h	0,27 kWh/h	-31 %
18. KW 2012	0,42 kWh/h	0,30 kWh/h	-28 %
19. KW 2012	0,44 kWh/h	0,21 kWh/h	-52 %
20. KW 2012	0,37 kWh/h	0,27 kWh/h	-29 %
21. KW 2012	0,38 kWh/h	0,26 kWh/h	-32 %
22. KW 2012	0,27 kWh/h	0,11 kWh/h	-59 %
23. KW 2012	0,39 kWh/h	0,22 kWh/h	-43 %
24. KW 2012	0,29 kWh/h	0,19 kWh/h	-36 %
Mittelwert	0,38 kWh/h	0,23 kWh/h	-39 %

Datentabelle 1: Stromverbrauch in den beiden Räumen über einen Zeitraum von zwei Monaten

Es zeigte sich, dass der Stromverbrauch in dem umgerüsteten PC-Raum um ca. 40 % niedriger lag als in dem Referenzraum. Angesichts der Leistungsaufnahme (siehe Abschnitt 2) verwundern diese Daten auf den ersten Blick, da die Differenz der Leistungsaufnahme zwischen den beiden Räumen im Normalbetrieb 62 % beträgt und somit eine höhere Differenz erwartet lässt.

Die Schwankung der prozentualen Differenz zwischen 28 % und 59 % ist auf die unterschiedliche Nutzungsintensität der beiden Räume zurückzuführen. Diese ergibt sich zum einen aus der Anzahl der erteilten Unterrichtsstunden und zum anderen aus der Anzahl der im Unterricht tatsächlich genutzten Arbeitsplätze (es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Bildschirmarbeitsplätze nur die Maximalbelegung widerspiegelt, die jedoch nicht häufig erreicht wird). Dieses ist auch der Grund für die verhältnismäßig geringe Differenz von 40 %.

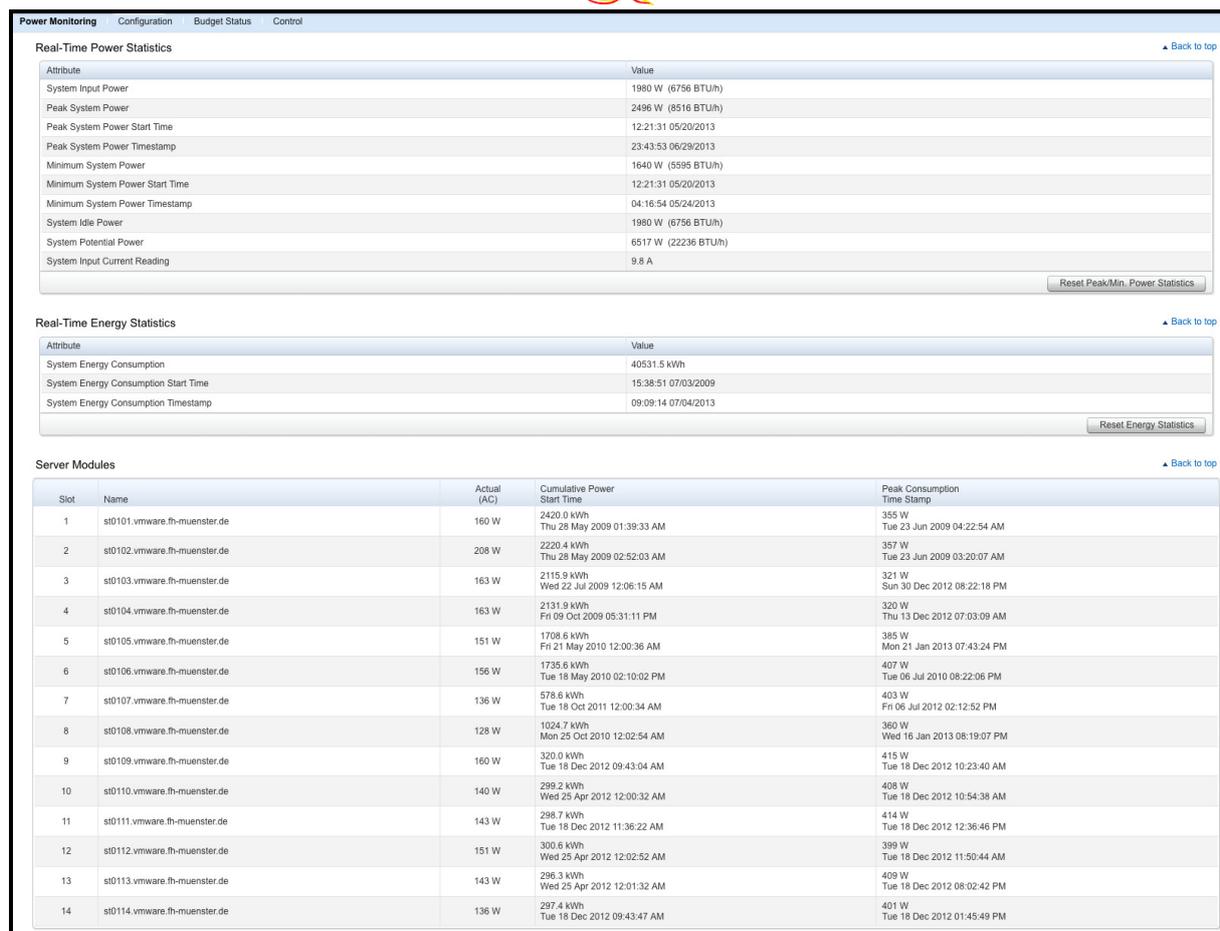


Abbildung 11: Screenshot der Leistungsaufnahme im Rechenzentrum

Der Leistungsaufnahme der Storage-Einheit für die Bereitstellung der Virtual Desktop Infrastructure (VDI) liegt anteilmäßig bei 300 Watt.

Unter Ceteris-paribus-Bedingungen sowie folgenden Annahmen:

- 31 Bildschirmarbeitsplätze, die in der Betriebszeit vollständig genutzt werden;
- Betriebszeit beträgt 650 Stunden p.a. (entspricht 20 Unterrichtsstunden wöchentlich);
- Standby-Zeit beträgt 10 % der Unterrichtszeit;
- Die Serverlaufzeit bei der ThinClient-Lösung liegt 30 % über der Unterrichtszeit;
- Der Storage verzeichnet eine Leistungsaufnahme von 300 Watt und der Server 180 Watt;

ergeben sich damit folgende jährliche Stromverbräuche:



Ausstattung		Betriebsmodus		Standby-Modus		Stromverbrauch p.a.	
	Anzahl	Leistungs- aufnahme	Betriebs- stunden	Leistungs- aufnahme	Betriebs- stunden	R. 325	R. 326
PC	31	70,0 Watt	650 h	5,0 Watt	65 h	1.421 kWh	0 kWh
Thin Client	31	10,0 Watt	650 h	0,1 Watt	65 h	0 kWh	202 kWh
Storage	1	300,0 Watt	845 h	0,0 Watt	0 h	0 kWh	254 kWh
Server	1	180,0 Watt	845 h	0,0 Watt	0 h	0 kWh	304 kWh
Summe						1.421 kWh 100 %	760 kWh 53 %

Datentabelle 2: Theoretisch ermittelter Jahresstromverbrauch ohne Berücksichtigung verbrauchsreduzierter Flachbildschirme

Die Einsparung liegt bei 47 % bzw. rund 700 kWh p.a.. Eine weitere Optimierungsmöglichkeit ist der Tausch der herkömmlichen Bildschirme gegen besonders sparsame Bildschirme. Dieses führt zu in der folgenden Datentabelle dargestellten Ergebnissen:

Ausstattung		Betriebsmodus		Standby-Modus		Stromverbrauch p.a.	
	Anzahl	Leistungs- aufnahme	Betriebs- stunden	Leistungs- aufnahme	Betriebs- stunden	R. 325	R. 326
PC	31	70,0 Watt	650 h	5,0 Watt	65 h	1.421 kWh	0 kWh
Bildschirm normal	31	26,0 Watt	650 h	2,0 Watt	65 h	528 kWh	0 kWh
Thin Client	31	10,0 Watt	650 h	0,1 Watt	65 h	0 kWh	202 kWh
Bildschirm sparsam	31	17,0 Watt	650 h	0,1 Watt	65 h	0 kWh	343 kWh
Storage	1	300,0 Watt	845 h	0,0 Watt	0 h	0 kWh	254 kWh
Server	2	180,0 Watt	845 h	0,0 Watt	0 h	0 kWh	304 kWh
Summe						1.949 kWh 100 %	1.102 kWh 57 %

Datentabelle 3: Theoretisch ermittelter Jahresstromverbrauch mit Berücksichtigung verbrauchsreduzierter Flachbildschirme

Die Einsparung steigt mit Austausch der Bildschirme auf 850 kWh p.a. je PC-Raum bzw. ca. 4,5 kWh bei 190 Schultagen p.a. je Schultag und PC-Raum. Die Einsparung beträgt jährlich etwa 27 kWh je Arbeitsplatz. Des Weiteren kann bei lastganggemessenen Abnahmestellen die geringere Netzbelastung von 1,5 kW je PC-Raum berücksichtigt werden.

Einen ganz erheblichen Einfluss auf den Stromverbrauch haben aufgrund der großen Leistungsaufnahme die Betriebszeiten von Server und Storage. Sofern diese nicht herunter gefahren werden, ergibt sich ein gänzlich anderes Bild beim Stromverbrauch:



Ausstattung		Betriebsmodus		Standby-Modus		Stromverbrauch p.a.	
		Leistungs- aufnahme	Betriebs- stunden	Leistungs- aufnahme	Betriebs- stunden	R. 325	R. 326
PC	31	70,0 Watt	650 h	5,0 Watt	65 h	1.421 kWh	0 kWh
Thin Client	31	10,0 Watt	650 h	0,1 Watt	65 h	0 kWh	202 kWh
Storage	1	300,0 Watt	8.760 h	0,0 Watt	0 h	0 kWh	2.628 kWh
Server	1	180,0 Watt	8.760 h	0,0 Watt	0 h	0 kWh	1.577 kWh
Summe						1.421 kWh 100 %	4.749 kWh 334 %

Datentabelle 4: Theoretisch ermittelter Jahresstromverbrauch ohne Abschaltung der Server- und Storage-Einheiten und ohne Berücksichtigung verbrauchsreduzierter Flachbildschirme

Die Variante Thin Client verzeichnet bei dauerhaftem Betrieb von Server und Storage einen mehr als drei Mal so hohen Stromverbrauch. Aus diesem Grund wird die Reduzierung des Stromverbrauchs nur erreicht, wenn Server und Storage außerhalb der Nutzungszeiten abgeschaltet werden.

Die folgende Berechnung stellt noch einmal die Reduzierung des Stromverbrauchs und der CO₂-Emissionen gegenüber, wenn alle Möglichkeiten der Verbrauchsreduzierung ausgenutzt werden, d. h. die Bildschirme ausgetauscht und Server und Storage außerhalb der Nutzungszeiten abgeschaltet werden.

Betriebsdauer	500 Zeitstunden	650 Zeitstunden	1.000 Zeitstunden
PC-Variante	1.502 kWh	1.949 kWh	2.990 kWh
Thin-Client-Lösung	848 kWh	1.102 kWh	1.695 kWh
Differenz	654 kWh	846 kWh	1.295 kWh
Differenz prozentual	44 %	43 %	43 %
Differenz CO ₂ - Emissionen*	393 kg	508 kg	777 kg

*600 g/kWh

Datentabelle 5: Reduzierung der CO₂-Emissionen bei unterschiedlichen Betriebsdauern

Projiziert auf sämtliche 2.000 PC in den Berufskollegs des Kreises Steinfurt ergäbe eine vollständige Umstellung im Idealfall eine Reduzierung des Stromverbrauchs bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 650 Stunden p.a. von etwa 55.000 kWh bzw. 33 Tonnen CO₂ Emission.

Der Stromverbrauch lässt sich durch die Umrüstung auf ThinClients bei allen Betriebsdauern folglich um ca. 43 % reduzieren. Von besonderer Bedeutung ist jedoch, dass auch die Servereinheiten in den Zeiten außerhalb der Nutzung heruntergefahren und stromlos gestellt werden. In diesem Projekt war das nicht möglich, da die Server auch als Mailserver genutzt wurden.

3.2 Temperaturen

Die Auswertung der durchschnittlichen Temperaturverläufe in den beiden Klassenräumen innerhalb der Schulzeit ergab über zwölf Monate aufgezeichnet folgendes Bild:

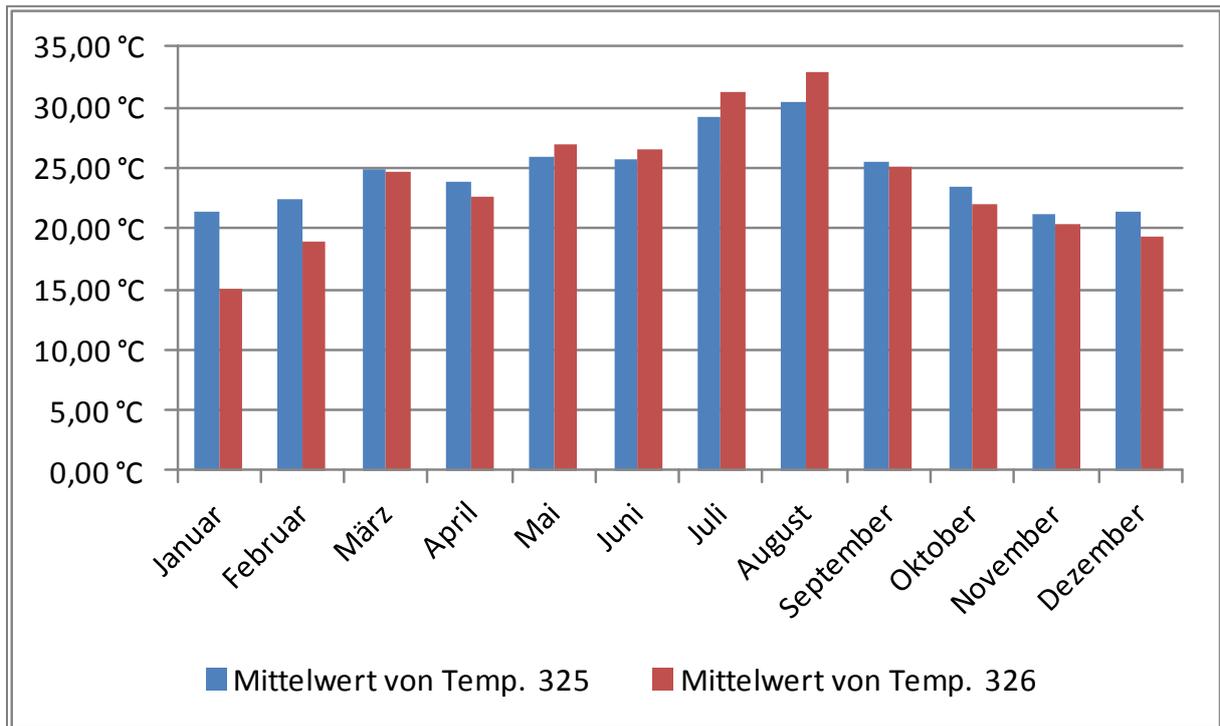


Abbildung 12: Durchschnittliche Temperaturen in den Klassenräumen innerhalb der Schulzeit über 12 Monate.

Zur besseren Darstellung zeigt die folgende Abbildung die Temperaturabweichungen zwischen den beiden Räumen:

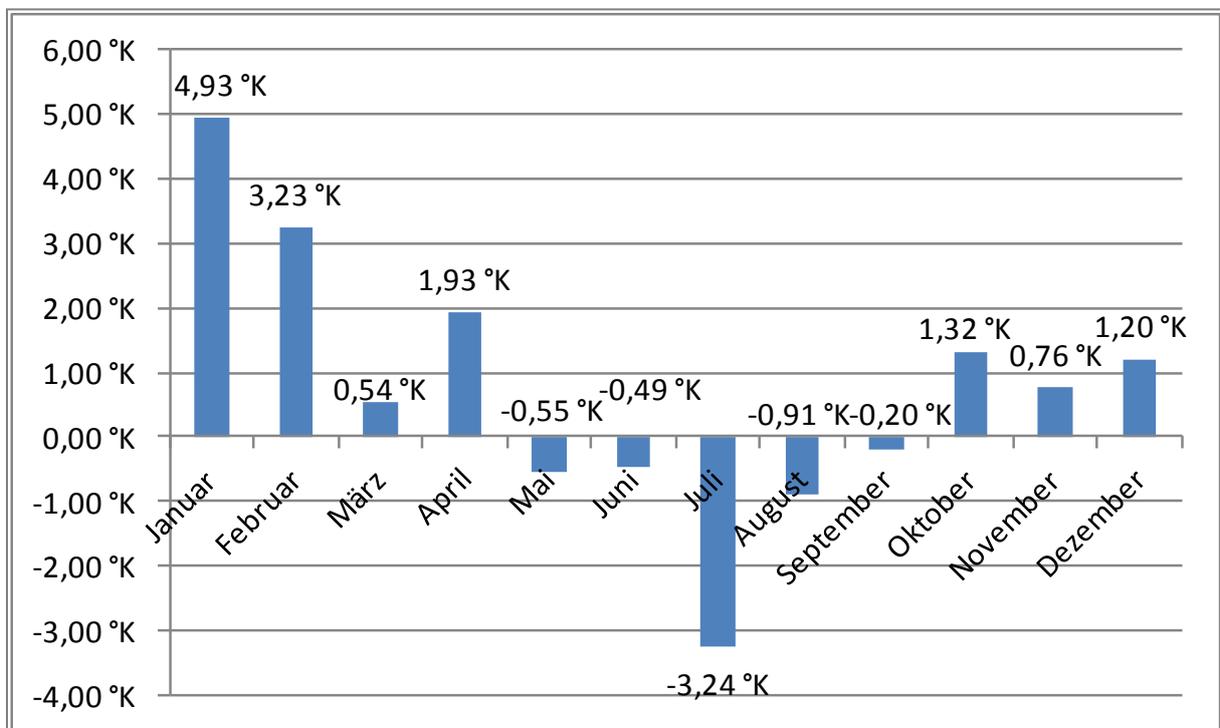


Abbildung 13: Durchschnittliche Temperaturabweichung zwischen den beiden Klassenräumen innerhalb der Schulzeit aufgetragen über die zwölf Monate. Bei Positiv-Werten ist der Referenzraum wärmer, bei Negativ-Werten ist der auf die Thin-Clients umgerüstete PC-Raum wärmer.



Es ist auffällig, dass die Werte relativ willkürlich erscheinen und kaum mit den Erwartungen übereinstimmen. Insbesondere in den Sommermonaten Mai bis September verzeichnet der Raum 326 höhere Temperaturen als der Referenzraum. Zur weiteren Analyse wurden die Temperaturabweichungen außerhalb der Schulzeit ausgewertet. Dabei stellte sich heraus, dass auch außerhalb der Nutzungszeiten Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Räumen bestehen. Eine Erklärung könnte darin liegen, dass der Raum 236 ein Eckraum ist und dadurch über zwei Außenwandseiten verfügt.

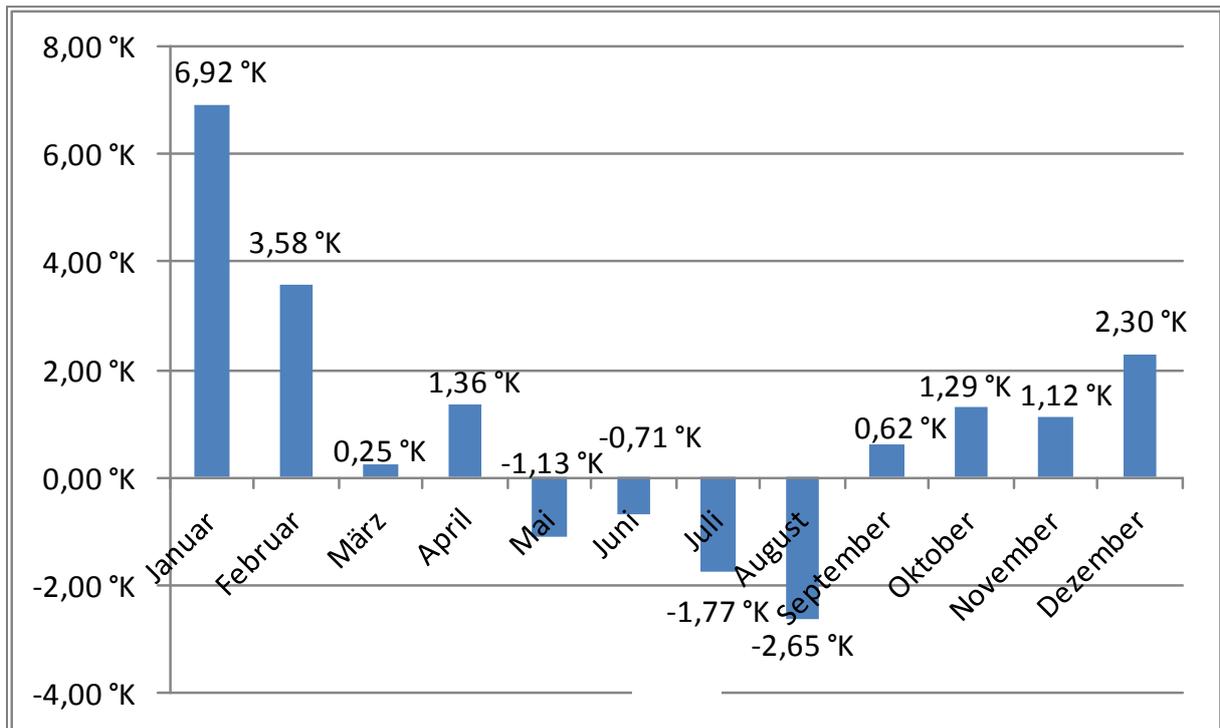


Abbildung 14: Monatliche durchschnittliche Abweichung der Raumtemperaturen außerhalb der Schulzeiten

Damit die Auswertung der Temperaturdifferenz ohne diese (unbekannten) Einflüsse erfolgt, wurde die Auswertung erweitert. Die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Räumen in der Stunde vor dem Schulbetrieb – zwischen 6 und 7 Uhr – wurde für den jeweiligen Tag als Referenzabweichung erfasst und von der Temperaturdifferenz abgezogen. Der dann noch vorliegende Wert entspricht näherungsweise der durch die Nutzung entstehenden Temperaturdifferenz zwischen den beiden Räumen.

Zur Veranschaulichung:

- Temperatur Raum 325 (nur Schulzeit)
- ./. Temperatur Raum 326 (nur Schulzeit)
- = Temperaturdifferenz
- ./. Referenzabweichung (ermittelt an Schultagen zwischen 6 und 7 Uhr)
- = kalibrierte Temperaturabweichung

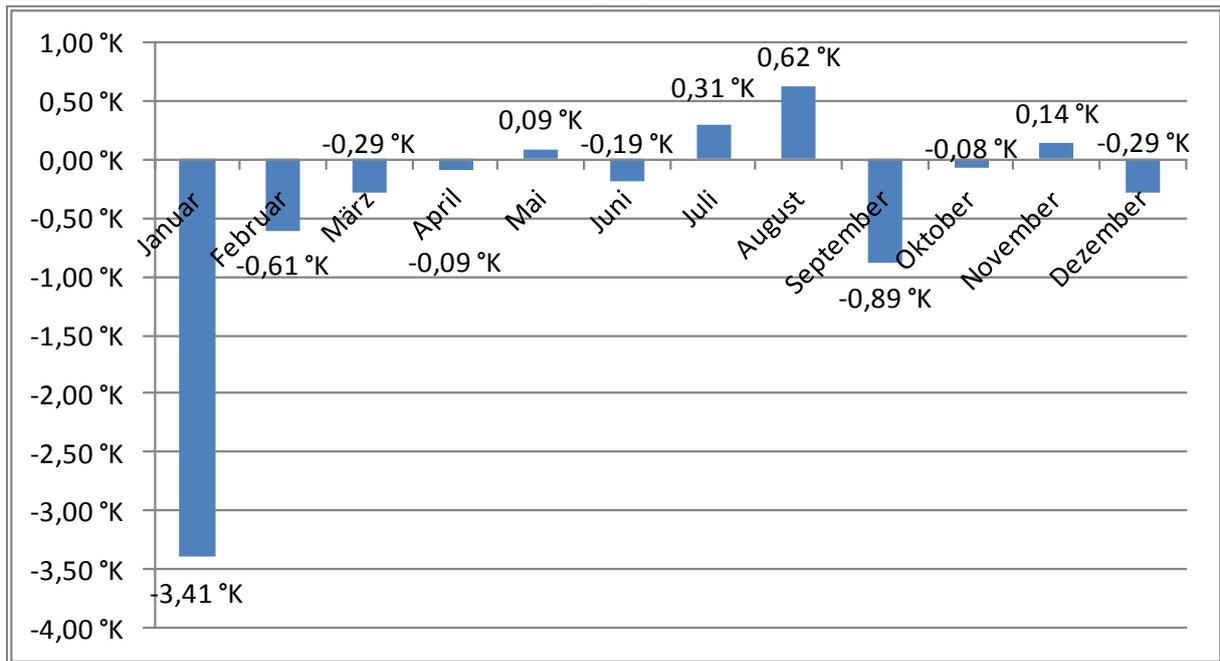


Abbildung 15: Temperaturdifferenz zwischen den beiden Räumen während der Schulzeit nach Abzug von sonstigen Temperatureinflüssen

Es zeigt sich, dass mit Ausnahme des Monats Januar im Mittel keine Temperaturabweichung von mehr als 1 °K festzustellen ist. Zur genaueren Analyse werden im Folgenden die Tagesverläufe der fünf heißesten, nicht aufeinander folgenden Tage innerhalb der Schulzeit dargestellt.

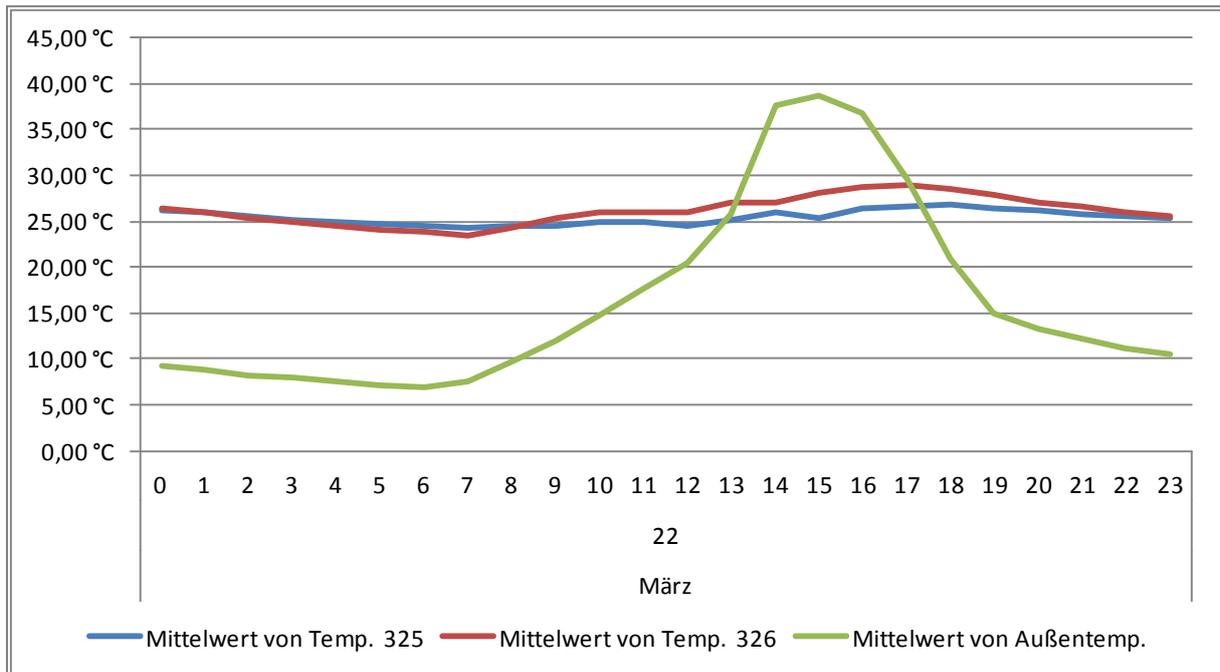


Abbildung 16: Tageszeitlicher Temperaturverlauf am Donnerstag, 22. März 2012, die Abszisse stellt den Zeitraum des Temperaturverlaufs zwischen 0 und 24 Uhr dar. Es ist gut zu erkennen, dass die Innenraumtemperatur mit Verzögerung und erheblich niedrigerer Amplitude der Außentemperatur träge nachläuft. Die Maximaltemperatur im Raum 326 beträgt 29,1 °C, im Referenzraum beträgt sie 27,0 °C. Die hohe Außentemperatur ergibt sich durch die Sonneneinstrahlung des Außentemperaturfühlers.

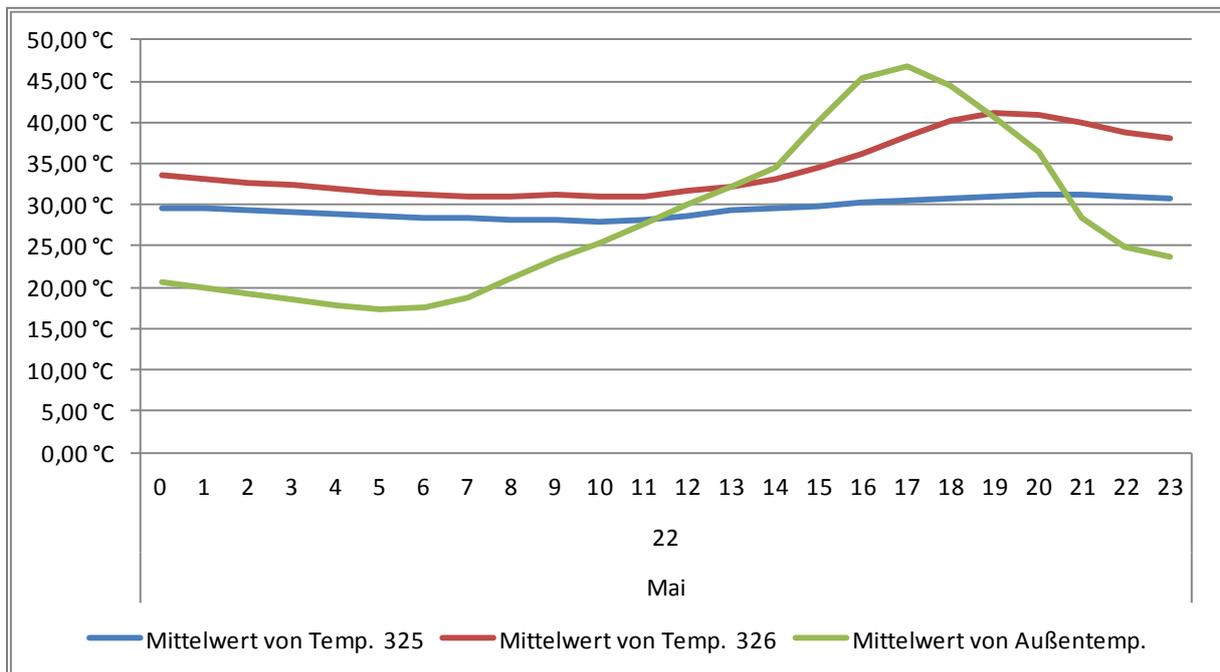


Abbildung 17: Tageszeitlicher Temperaturverlauf am Dienstag, 22. Mai 2012 die Abszisse stellt den Zeitraum des Temperaturverlaufs zwischen 0 und 24 Uhr dar. Die Außentemperatur hat sich nachts nur auf knapp unter 20 °C abgekühlt und hat eine höchste Temperatur von 46,7 °C. Da die vorherigen Tage bereits sehr warm waren, haben sich die Räume aufgeheizt und sogar nachts eine Temperatur von über 30 °C. Durch den Schulbetrieb bis 15 Uhr ist keine nennenswerte Aufheizung zu verzeichnen. Durch die West-Ausrichtung der Räume ergibt sich infolge der nachmittäglichen Sonneneinstrahlung in diesem Zeitraum die höchste Aufheizung. Die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Räumen ergibt sich vermutlich aus der Tatsache, dass der Raum 326 über zwei Außenwände verfügt und sich deshalb stärker aufheizt. Die hohe Außentemperatur ergibt sich durch die Sonneneinstrahlung des Außentemperaturfühlers.

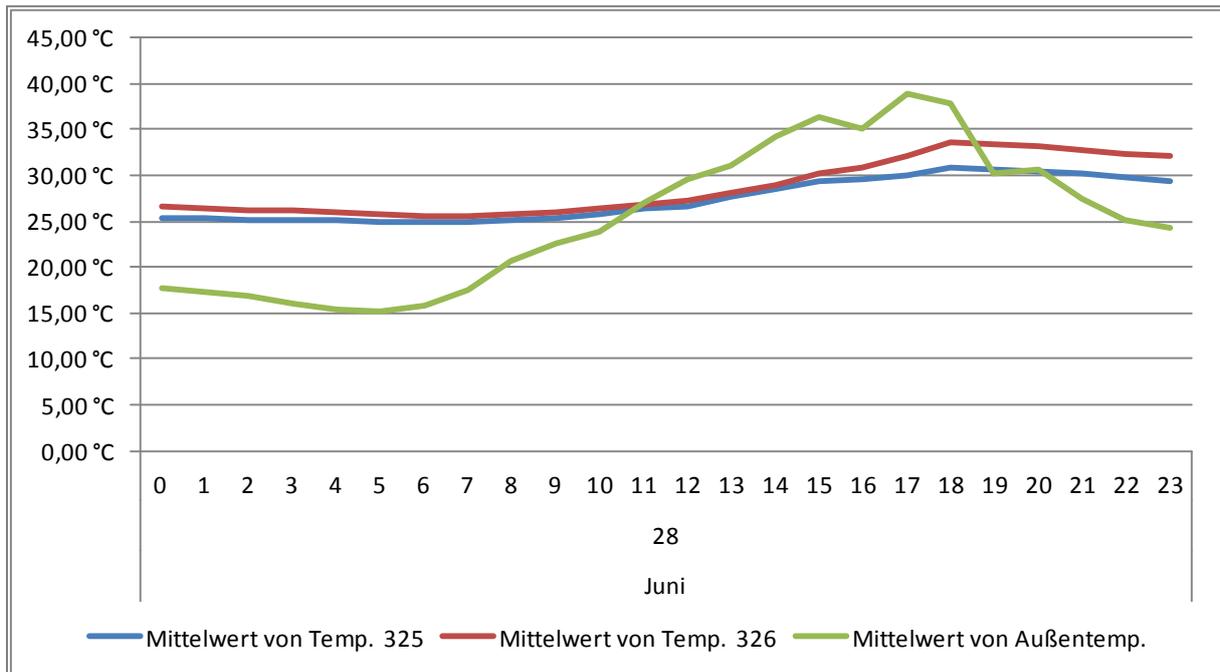


Abbildung 28: Donnerstag, 28. Juni 2012. die Abszisse stellt den Zeitraum des Temperaturverlaufs zwischen 0 und 24 Uhr dar. Angesichts der zuvor kühleren Tage liegt das Temperaturniveau in den beiden Klassenräumen in einem während der Schulzeit akzeptablen Rahmen von ca. 25 °C. Erst in den Nachmittagsstunden heizen sich die Räume auf. Eine Aufheizung aufgrund des Unterrichts ist nur in geringfügigem Maße zu erkennen. Die hohe Außentemperatur ergibt sich durch die Sonneneinstrahlung des Außentemperaturfühlers.

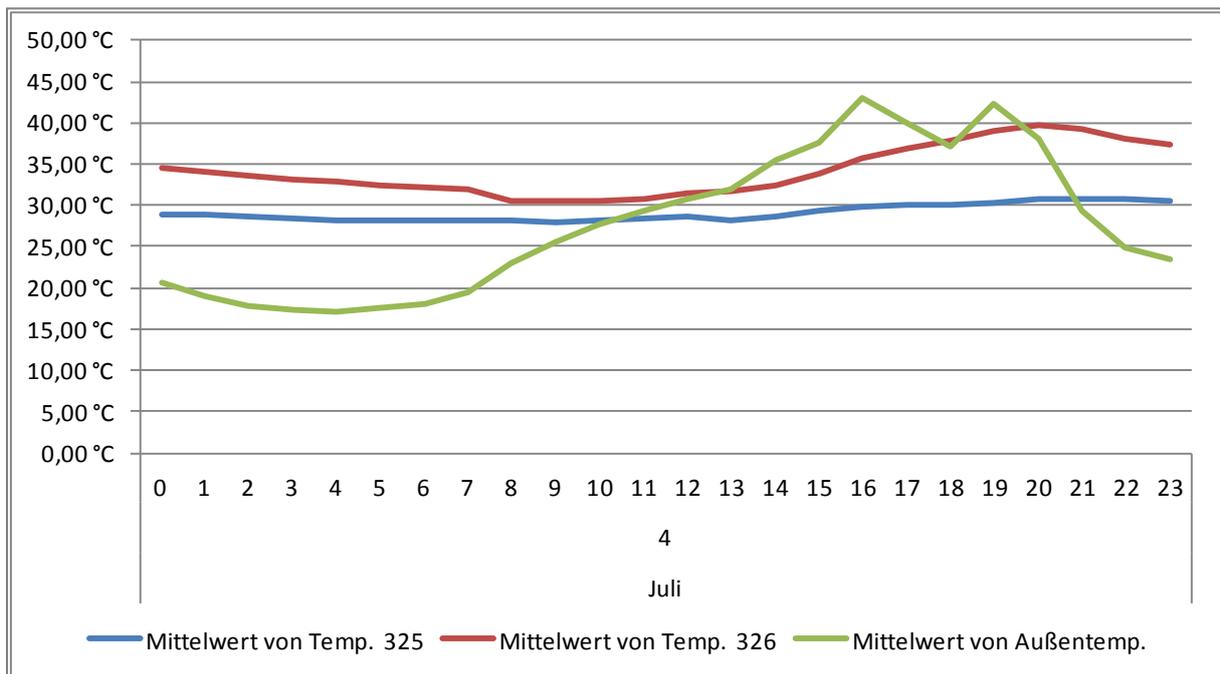


Abbildung 139: Mittwoch, 04. Juli 2012. die Abszisse stellt den Zeitraum des Temperaturverlaufs zwischen 0 und 24 Uhr dar. Auch hier fällt die Temperatur nachts nur kurzzeitig unter 20 °C. Die bereits länger andauernde Warmphase führt dazu, dass die Räume bereits aufgeheizt in den Tag starten. Der Raum 326 ist hiervon besonders betroffen. Die Abkühlung bzw. das Halten der Raumtemperatur zwischen 8 Uhr und ca. 13 Uhr entstand vermutlich durch Lüften. Dadurch konnte die überhöhte Raumtemperatur an die kältere Außentemperatur angepasst werden. Nachdem die Außentemperatur die Innenraumtemperatur überstieg, war dieses nicht mehr möglich und die Innenraumtemperatur stieg verzögert an. Die hohe Außentemperatur ergibt sich durch die Sonneneinstrahlung des Außentemperaturfühlers.

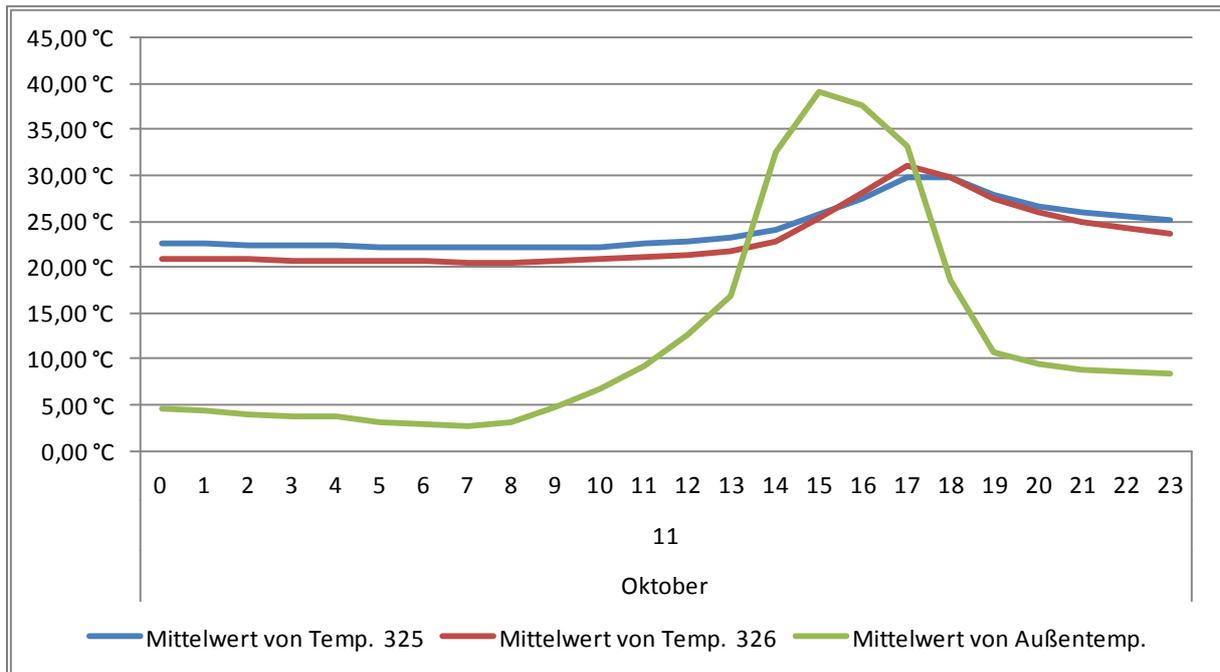


Abbildung 20: Donnerstag, 11. Oktober 2012. die Abszisse stellt den Zeitraum des Temperaturverlaufs zwischen 0 und 24 Uhr dar. Diesem Tag gingen kühlere Tage mit maximalen Tagestemperaturen von ca. 20 °C voraus. Deshalb starten die beiden Räume mit idealen Temperaturen um ca. 20 °C bis 22 °C. Sie heizen sich erst nach Mittag um ca. 10 °Kelvin auf, fallen aber rasch wieder auf ein normales Niveau aufgrund der Auskühlung des Gebäudes durch die relativ kalten Außentemperaturen. Die hohe Außentemperatur ergibt sich durch die Sonneneinstrahlung des Außentemperaturfühlers.

Die Auswertung zeigt deutlich, dass die Raumtemperatur nur geringfügig von der Raumnutzung und vom Betrieb der PC abhängt, dafür aber in erheblichem Maße von der Witterung. Der im Abschnitt 2.2 ermittelte Wert von 30 Watt je Quadratmeter zusätzlichen Wärmeeintrag im Referenzraum ist so gering, dass er von anderen Einflüssen, wie zusätzliches Lüften, größere Anzahl an Personen, unterschiedliches Beleuchtungsverhalten etc. überlagert wird. Insofern hat ein konsequentes Nutzerverhalten zum sommerlichen Wärmeschutz (Beschattung, intelligentes Lüften) einen größeren Einfluss, als die Umstellung von Fat Clients auf Thin Clients. Bereits die Auswertung der unterschiedlichen Stromverbräuche gibt einen ersten Hinweis hierauf.

Um explizit die Abhängigkeit von Schulbetrieb und Temperaturentwicklung darzustellen, wird für einen Tag der Temperaturverlauf dem CO₂-Gehalt, der als Indikator für die Raumnutzung durch Schüler und Lehrer steht, in der folgenden Abbildung gegenübergestellt.

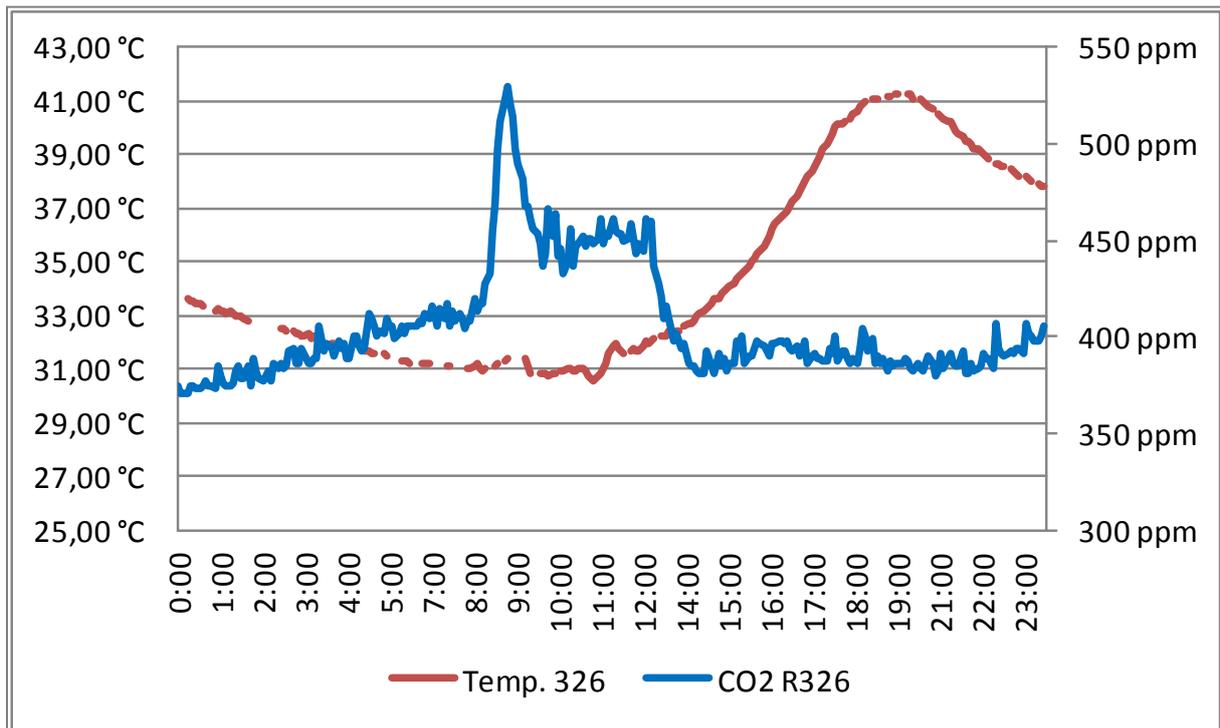


Abbildung 21: CO₂-Gehalt und Temperaturverlauf von 0 bis 24 Uhr am Dienstag, 22. Mai 2012. Der Beginn des Unterrichts um 8 Uhr ist durch einen deutlichen Ausschlag im CO₂-Gehalt der Raumluft (blaue Linie) zu erkennen. Obwohl sich der CO₂-Gehalt in einem positiven Bereich (< 1.000 ppm) befindet, wurden offensichtlich um 9 Uhr Fenster geöffnet. Der CO₂-Gehalt sank deutlich. Der Unterricht lief bis 13 Uhr, danach stellte sich das CO₂-Niveau auf einen üblichen Wert von ca. 380 ppm ein. Eine Korrelation zwischen Temperatur- und CO₂-Verlaufskurve ist nicht zu erkennen.

Fazit:

Es ist festzustellen, dass durch die durchgeführten Maßnahmen und der damit einhergehenden Herabsetzung der inneren Wärmelasten sich das Temperaturniveau des Unterrichtsraumes nicht wesentlich verändert.

3.3 CO₂-Gehalt

Die Qualität der Raumluft ist ein wichtiges Kriterium für die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit. Bei schlechter Qualität nehmen die Fähigkeiten für Konzentration und Leistung merklich ab. Als Indikator zur Beurteilung der Raumluftqualität hat sich die Kohlenstoffdioxidkonzentration (CO₂-Konzentration) etabliert. CO₂ ist ein guter Indikator für die Emission organischer Ausdünstungen durch Menschen. Es ist ein Stoffwechselprodukt, das jeder Mensch beim Ausatmen freisetzt. Zur Bewertung der CO₂-Konzentration werden Grenzwerte herangezogen. Angaben zu den Anforderungen an die Raumluftqualität enthalten die DIN EN 13779 und die DIN EN 15251. Hohe Raumluftqualität erlaubt einen CO₂-Gehalt von bis zu 800 ppm, mittlere Raumqualität bis 1.000 ppm. Ab 1.400 ppm spricht man von schlechter Raumluftqualität.

In der folgenden Grafik ist der mittlere CO₂-Gehalt während der Schulzeit für den gesamten Zeitraum dargestellt.

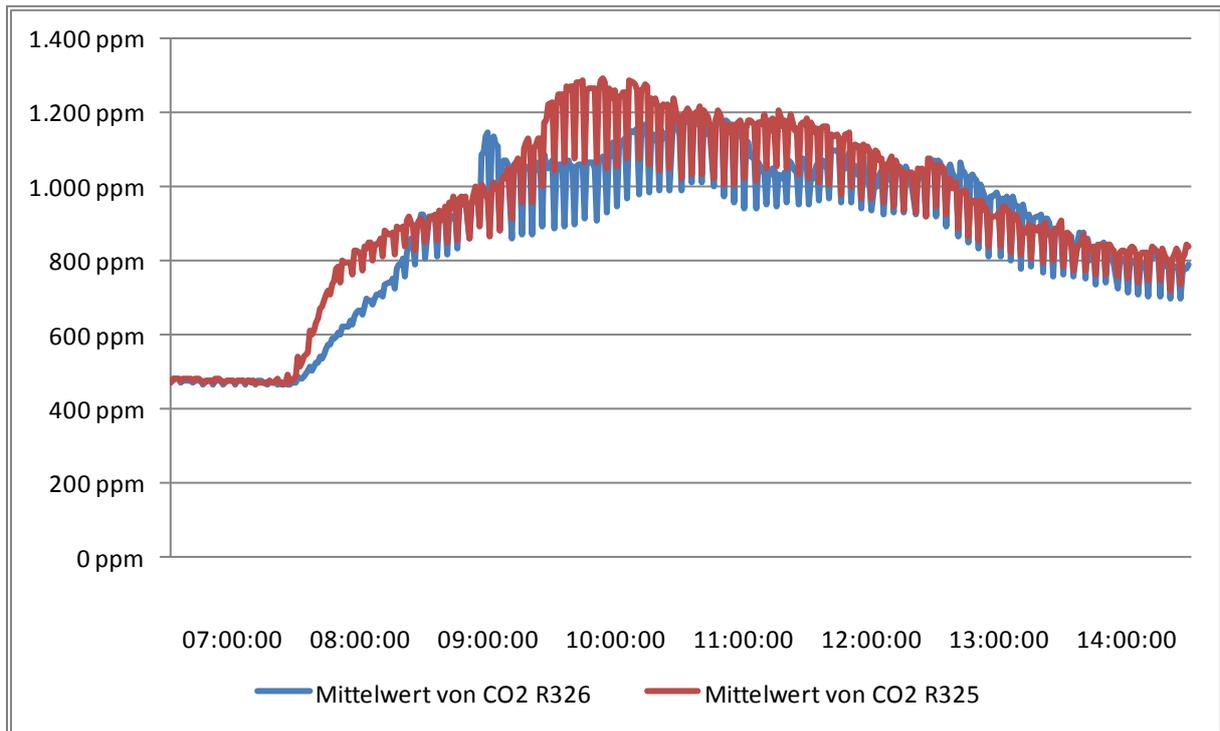


Abbildung 22: Mittelwert (!) der CO₂-Konzentration in den beiden Räumen 325 und 326 bezogen auf alle Schultage des Jahres in der Zeit zwischen 7 Uhr und 15 Uhr. Der zeitlich scharf abgrenzbare Beginn der Unterrichtszeit wird durch den schlagartigen Anstieg der CO₂-Konzentration gekennzeichnet. Ob und inwiefern der höhere Anstieg im Raum 325 durch die PC-Landschaft begründet ist, lässt sich nicht ermitteln.

3.4 Luftfeuchtigkeit

Für ein behagliches Raumklima wird im Allgemeinen ein Wert zwischen 40 und 60 % relativer Luftfeuchte angenommen. Eine zu niedrige Luftfeuchtigkeit – im Allgemeinen in der Winterzeit – entzieht dem Körper Feuchtigkeit, was sich z. B. durch eine Reizung der Bindehaut in den Augen und trockene Atemwege (Steigerung der Infektionsgefahr) bemerkbar macht. Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit – im Allgemeinen in der Sommerzeit – wird als „drückend“ empfunden, da der Körper nur schwerlich über Verdunstung seine Körpertemperatur regulieren kann. Aus gesundheitlicher Sicht und im Sinne der Schaffung guter Lernbedingungen sollte sich die Luftfeuchtigkeit deshalb möglichst in dem o.g. Rahmen befinden.

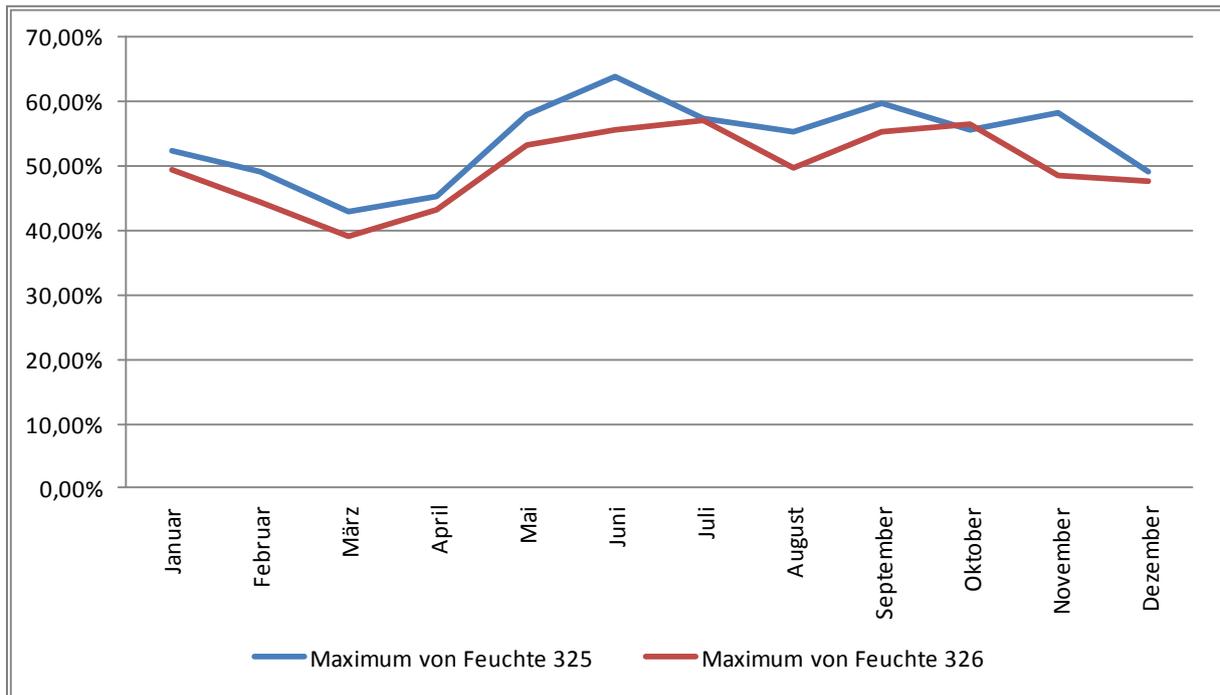


Abbildung 23: Maximale relative Luftfeuchtigkeit: Die Werte übersteigen den Wert von 60 % praktisch nicht. Auffällig ist der tendenziell niedrigere Wert im Raum 326.

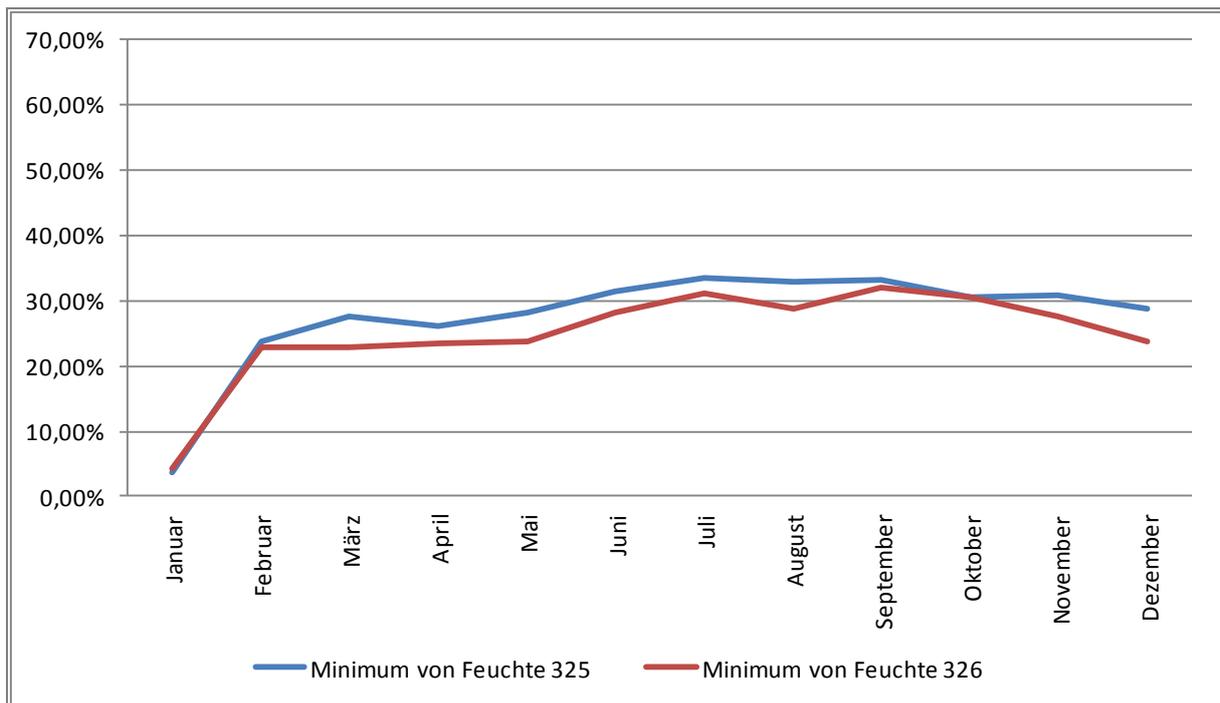


Abbildung 24: Minimale relative Luftfeuchtigkeit: Die Werte unterschreiten den Wert von 40 % relativ häufig. Auch hier verzeichnet der Raum 326 niedrigere Werte als der Referenzraum.

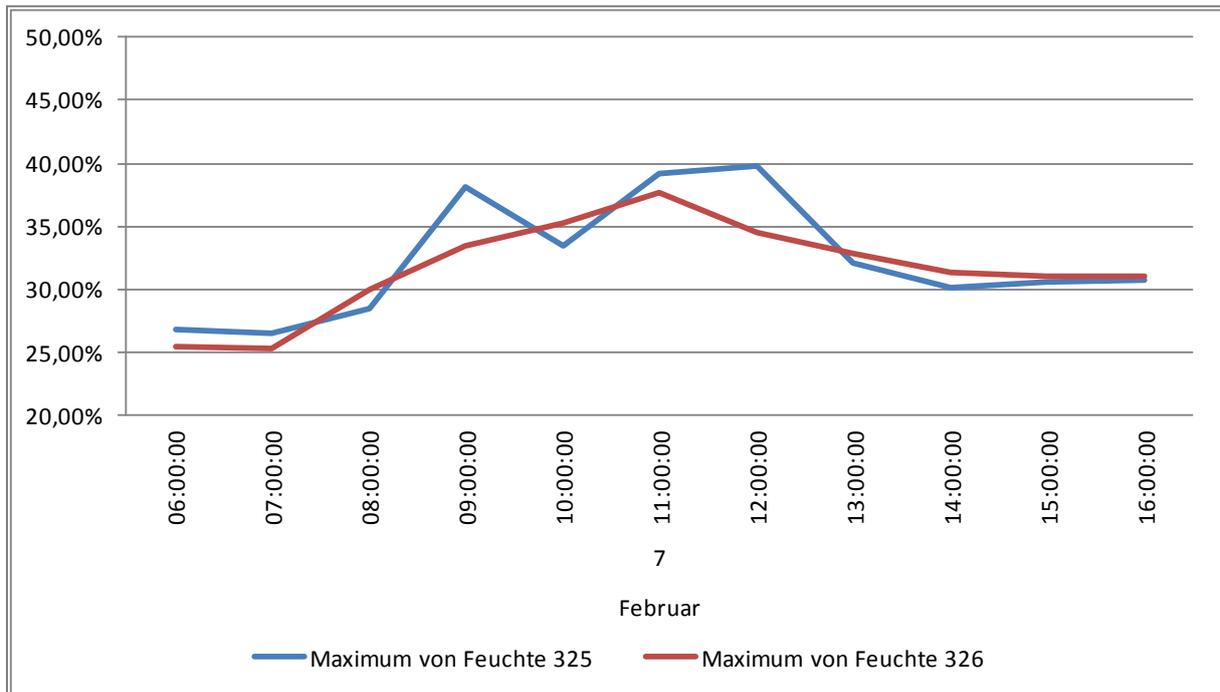


Abbildung 25: Minimale relative Luftfeuchtigkeit am 07. Februar 2012 von 6 Uhr bis 16 Uhr. Es ist deutlich zu erkennen, dass die relative Luftfeuchtigkeit mit der Nutzung der Räume ansteigt. Es ist kein unmittelbarer Zusammenhang einer veränderten relativen Luftfeuchtigkeit zwischen den beiden Räumen zu erkennen.

Die Auswertung zeigt, dass die Luftfeuchtigkeit im Allgemein eher dazu tendiert, zu niedrig als zu hoch zu sein. Einen Zusammenhang zwischen der relativen Luftfeuchtigkeit und der technischen Ausstattung der PC-Räume ist nicht zu erkennen.

3.5 Subjektives Empfinden der Nutzer

Neben der messtechnischen Auswertung ist für eine Umrüstung auf Thin-Clients die Akzeptanz durch die Nutzer wesentlich. Die Schüler und Lehrer wurden über Fragebögen zu ihrem subjektiven Empfinden der

- Raumluftqualität;
- Temperatur;
- Rechnerleistung

befragt. Insgesamt wurden 360 Fragebögen ausgefüllt zurückgegeben und ausgewertet.

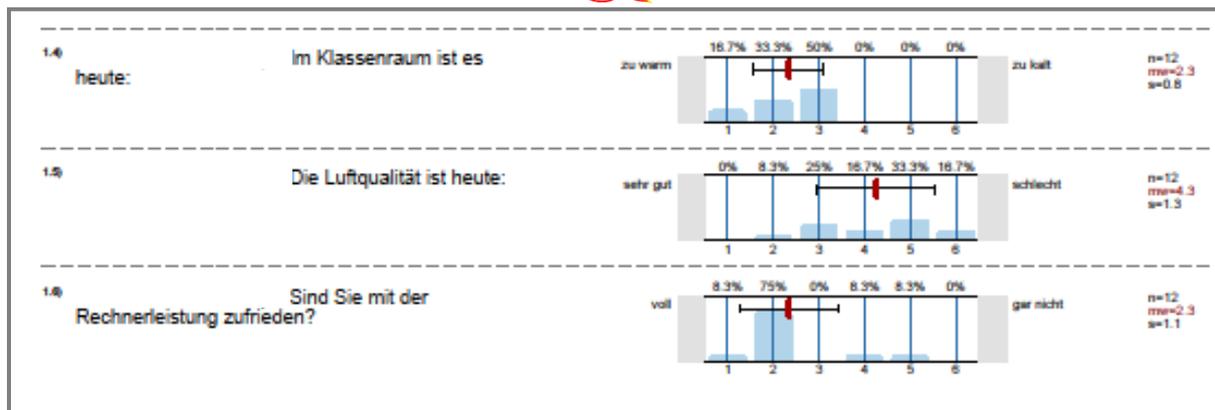


Abbildung 26: Datenbild einer erfassten Fragebogenstunde (24.05.2012, 12 Schüler, 3+4 Stunde, Raum 326)

Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung der abgegebenen Fragebögen auf die verschiedenen Aspekte der Befragung:

Abgegebene Fragebögen		360
Nutzer	Lehrer	15
	Schüler	345
Räumlichkeit	Raum 325	95
	Raum 326	265
Schulstunde	1+2	65
	3+4	208
	5+6	73
	Ohne Nennung	19
Monat	März	1
	April	208
	Mai	133
	Juni	18

Die Schüler und Lehrer konnten zu drei Themen ihre Empfindungen auf einer Skala von 1 bis 6 abgeben:

1. Im Klassenraum ist es heute: zu warm (0) (6) zu kalt
2. Die Luftqualität ist heute: sehr gut (0) (6) schlecht
3. Sind Sie mit der Rechnerleistung zufrieden? voll (0) (6) gar nicht

3.5.1 Temperaturempfinden

Die Probanden konnten zwischen 0 = „zu warm“ und 6 = „zu kalt“ wählen. Der optimale Wert beträgt also 3, da hier der Raum weder als zu warm noch als zu kalt empfunden wird.

Es gibt subjektiv keinen signifikant darstellbaren Unterschied des Temperaturempfindens zwischen den beiden Räumen. Der Wert für den Raum 326 liegt im Durchschnitt bei 2,9 – also im neutralen Bereich von 3,0. Der Wert für den Referenzraum liegt bei 2,6 – also leicht im wärmer empfundenen Bereich. Auffällig ist, dass die Bewertung für den Raum 326 auch in den wärmeren Monaten Mai und Juni verhältnismäßig konstant um den Wert von 3,0 tendiert. Das Ergebnis ist somit – mit Ausnahme einzelner Ausreißer – sehr zufriedenstellend.

Die durchschnittliche Standardabweichung ist mit 0,7 relativ niedrig.

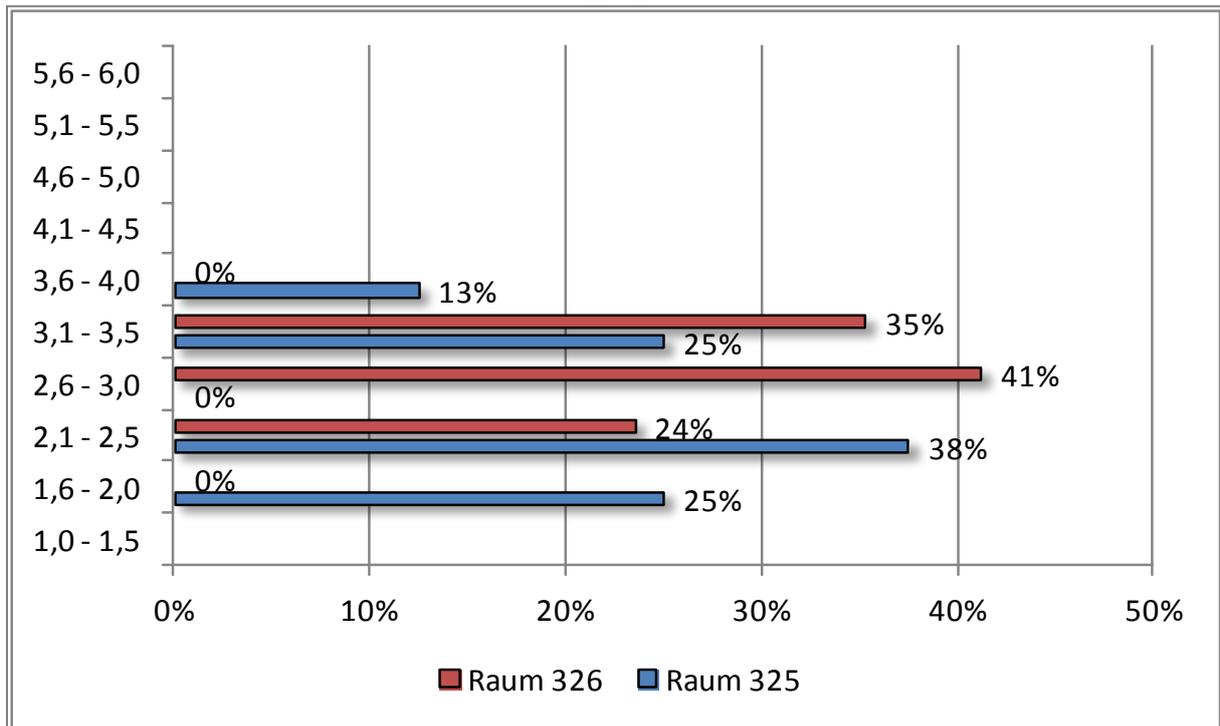


Abbildung 27: Fragebogenauswertung der empfundenen Raumtemperatur. Je niedriger der Wert der Ordinatennachse ist, desto wärmer wird der Raum empfunden. Der Wert von 3,5 stellt den neutralen - also optimalen - Wert dar. Im Bereich von 3,1 bis 4,0 ist das Temperaturempfinden sehr gut bis gut, im Bereich von 2,1 bis 3,0 und 4,1 bis 5,0 zufriedenstellend. Das Ergebnis für den Raum 326 ist als gut zu bewerten, da 35 % der Befragten das Temperaturempfinden als gut und die weiteren Befragten die Raumtemperatur als zufriedenstellend bewerteten. Im Raum 325 dagegen bewerteten 25 % der Befragten den Raum als zu warm.

3.5.2 Luftqualität

Die Probanden konnten auch bei der Luftqualität zwischen 0 = „sehr gute Luftqualität“ und 6 = „schlechte Luftqualität“ wählen. In diesem Fall ist also im Gegensatz zur Abfrage zur empfundenen Raumtemperatur der optimale Wert die 0.

Zwischen dem umgerüsteten Raum 326 und dem Referenzraum 325 sind keine wesentlichen Unterschiede festzustellen. Der Durchschnittswert liegt bei 4,0 für den Raum 326 und für den Referenzraum bei etwas ungünstigeren 4,2.

Die Angaben über das subjektive Empfinden der Raumluftqualität bestätigt das bereits im Abschnitt 3.3 skizzierte Problem der nicht zufrieden stellenden CO₂-Konzentrationen im Klassenraum. Ein Austausch der Fat Clients gegen Thin Clients löst das Problem allerdings nicht.

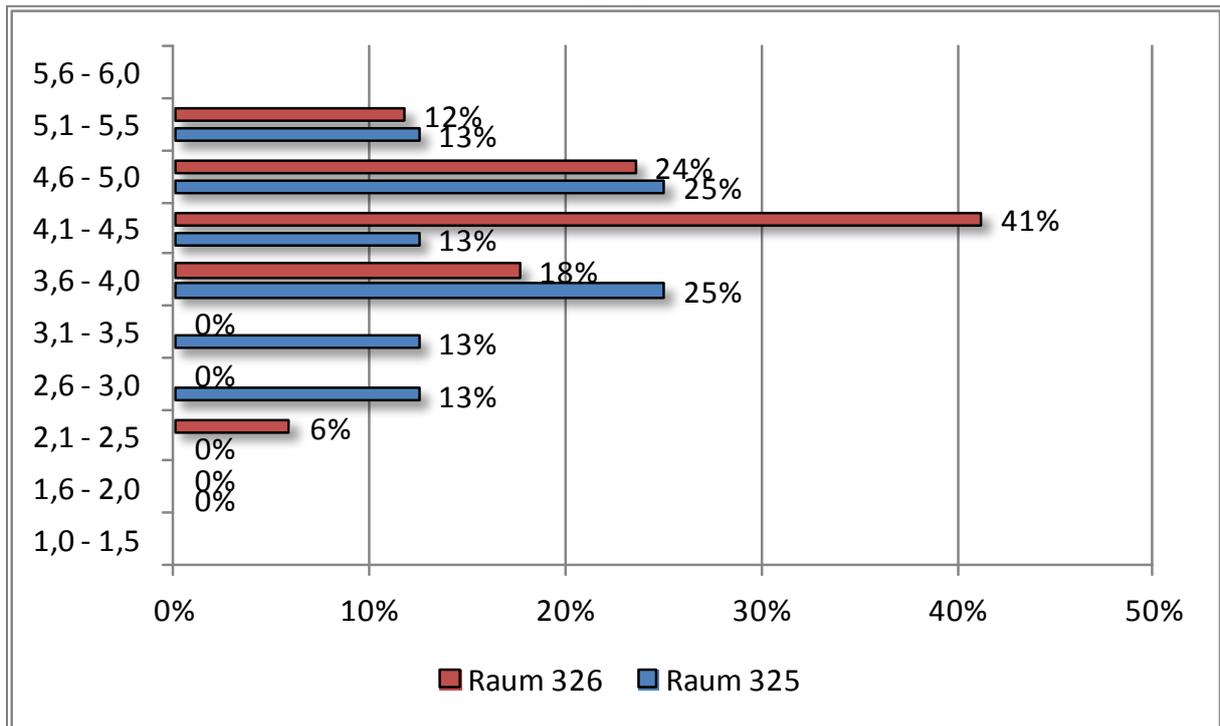


Abbildung 48: Subjektives Empfinden der Luftraumqualität. Je höher der Wert auf der Ordinatenachse ist, desto schlechter ist die Raumluftqualität. Bis zu einem Wert von 3,0 kann die Luftqualität als gut und von 3,1 bis 4,5 als ausreichend bezeichnet werden. Der Raum 325 schneidet geringfügig besser ab als der umgerüstete Raum 326.

3.5.3 Rechnerleistung

Zur Akzeptanz der Thin-Client-Lösung ist insbesondere die empfundene Rechnerleistung von Bedeutung. Die Probanden konnten bei ihrer Bewertung auf einer Skala von 0 = „sehr gute Rechnerleistung“ bis 6 = „schlechte Rechnerleistung“ wählen. Die 0 ist folglich der optimale Wert.

Die durchschnittliche Bewertung der Rechnerleistung für den Raum 326 ist mit 4,1 zwar nicht zufriedenstellend, aber deutlich besser als die Bewertung für den Referenzraum mit 4,7.

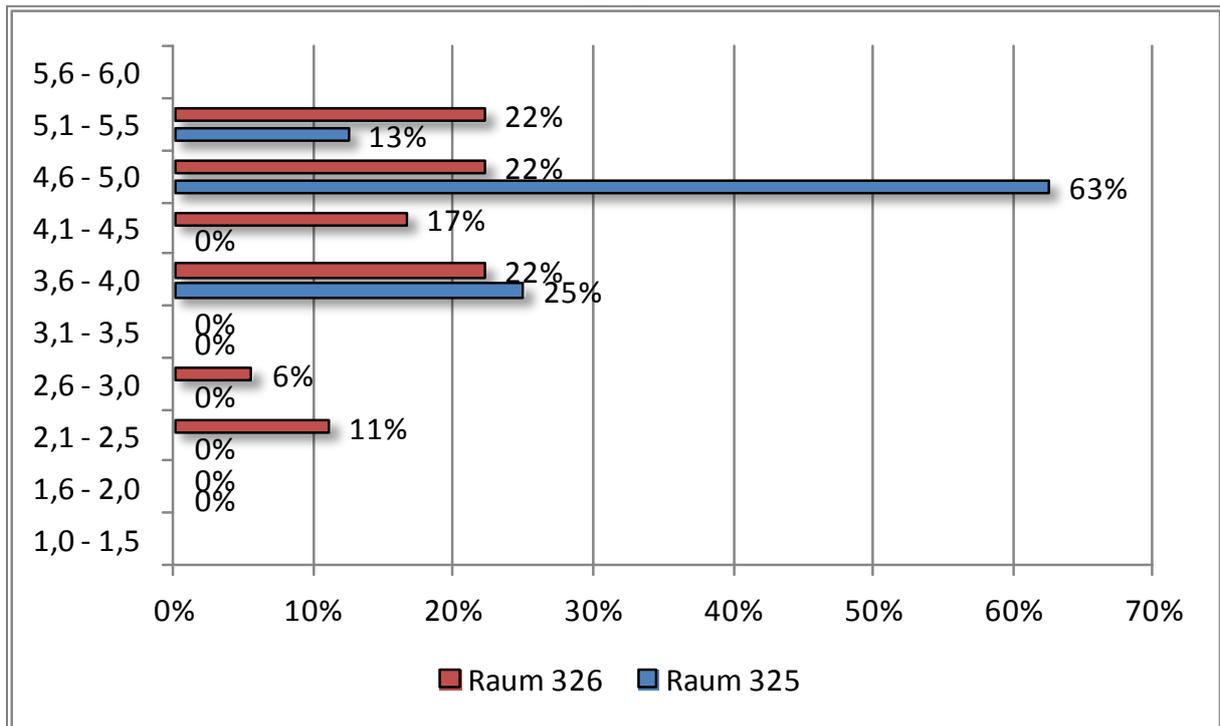


Abbildung 59: Zufriedenheit mit der Rechnerleistung: Wie bei der Raumluftqualität ist eine gute Bewertung durch einen niedrigen Punktwert zu erkennen. Werte von 3,0 und niedriger sind als gut zu bewerten. Werte von 5,0 und höher als unbefriedigend. Die Fragebögen zeigen beim Raum 326 eine erhebliche Streuweite. In Summe ist die Rechnerleistung des PC-Raums 326 dennoch besser bewertet worden als im Referenzraum.

3.5.4 Resümee

Im Befragungszeitraum empfanden die Nutzer die Räume weitgehend als angenehm temperiert. Dabei verzeichnet der umgerüstete Raum 326 leichte Vorteile gegenüber dem Referenzraum.

Die Luftqualität wird hingegen als eher schlecht empfunden. Zwischen den beiden Klassenräumen sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Dieses ist ursächlich auf das in Klassenräumen grundsätzliche Problem der hohen Belegung (nur ca. 2 m² Raumfläche je Person!) und dem daraus resultierenden Problem der sich einstellenden hohen CO₂-Konzentration zurückzuführen.

Die Zufriedenheit mit der Rechnerleistung war nach anfänglichen Schwierigkeiten gut und wurde im Raum 326 besser bewertet als im Referenzraum.



4. Technische Umsetzung und Administration der VDI

Die Einrichtung und Administration der Netz- und Server-Infrastruktur wurde in Kooperation mit der Datenverarbeitungszentrale der Fachhochschule Münster realisiert. Dabei wurden die notwendigen Server für die VDI (Virtual Desktop Infrastructure) im Rechenzentrum am Standort Steinfurt bereitgestellt und die Thin-Clients der Wirtschaftsschule Steinfurt über eine dedizierte WAN-Strecke mit dem Rechenzentrum verbunden.

Die Umsetzung erfolgte gemäß dem Projektplan aus Abb. 30.

P: Technische Umsetzung	74	28.10.11	10.01.12
SV: Bereitstellung der Desktop Hardware	70	28.10.11	06.01.12
Auswahl und Test geeigneter Thin Clients	3	28.10.11	31.10.11
Beschaffen der Thin Clients und Monitore	45	01.11.11	16.12.11
Aufstellen und Anschluß der Thin Clients und Monitore in der Schule	1	05.01.12	06.01.12
SV: Anbindung der Wirtschaftsschule mit LWL-Kabel an das Netz der FH	74	28.10.11	10.01.12
uSV: LWL-Kabel Verbindung zw. FH und Schule herstellen	67	28.10.11	03.01.12
Verlegung des LWL-Kabels in der Schule	37	28.10.11	04.12.11
Schule - GDM-Gebäude	67	28.10.11	03.01.12
GDM-Gebäude - FH-Keller	49	28.10.11	16.12.11
Verbindung getestet in Betrieb genommen	0	04.01.12	04.01.12
Netzwerkkomponenten installieren und konfigurieren	35	01.12.11	05.01.12
SV: Vorbereiten der Server-Infrastruktur	74	28.10.11	10.01.12
VMWare Sphere und Cluster auf den aktuellen Softwarestand bringen	28	28.10.11	25.11.11
Installation: Microsoft Active Directory Server	28	28.10.11	25.11.11
Installation und Konfiguration: VMWare View Composer	20	26.11.11	16.12.11
Installation, Konfiguration und Test: Wyse Device Manager	20	17.12.11	06.01.12
Planung und Festlegung der IP-Adressen und Netzwerkstruktur	46	28.10.11	13.12.11
Routing konfigurieren und testen	8	14.12.11	22.12.11
Client-Image der Wirtschaftsschule erstellen	1	15.12.11	16.12.11
SV: Einrichten einer Entwicklungsumgebung für VMWare View	6	14.12.11	20.12.11
Konfiguration: Microsoft Active Directory Server für die VMWare Entwicklungsumgebung	0	14.12.11	14.12.11
Installation: VMWare View Connection Server für die Entwicklungsumgebung	0	15.12.11	15.12.11
Konfiguration: VMWare View Connection Server für die Entwicklungsumgebung	3	16.12.11	19.12.11
Funktionstest der Entwicklungsumgebung für VMWare View	0	20.12.11	20.12.11
SV: Einrichten einer Produktivumgebung für VMWare View	16	21.12.11	06.01.12

Abbildung 30: Projektplan für die technische Umsetzung der VDI an der Wirtschaftsschule Steinfurt

4.1 Aufbau der Netz-Infrastruktur

Geographisch liegen die Wirtschaftsschule Steinfurt und Rechenzentrum am Standort Steinfurt ca. 2 km auseinander. Das Rechenzentrum am Standort Steinfurt ist über eine eigene Trasse in Burgsteinfurt mit dem Rechenzentrum am Standort Münster der Fachhochschule Münster verbunden. Diese führt ca. 500 m entfernt an der Wirtschaftsschule Steinfurt in der Bahnhofstraße 28 vorbei.

Die WAN-Anbindung der Wirtschaftsschule Steinfurt an das RZ am Standort Steinfurt wird über eine neu verlegte LWL-Dark Fibre mit einer Bandbreite von 1Gbit/s realisiert. Abbildung 31 zeigt das LWL-Patchpanel und den Switch (Cisco Catalyst 3750G) zur Anbindung der Thin-Clients an die VDI in der Wirtschaftsschule Steinfurt.



Abbildung 31: LWL-Patchpanel und Switch in der Wirtschaftsschule Steinfurt

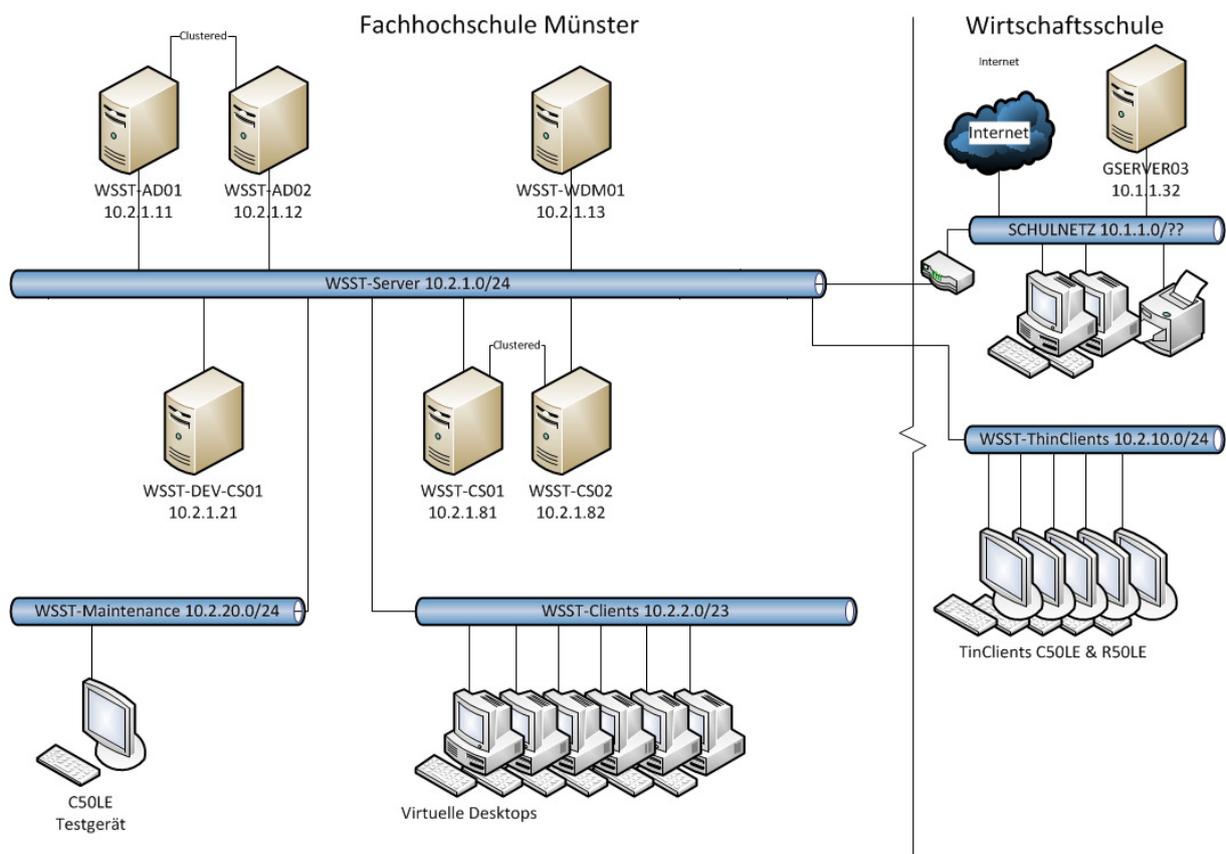


Abbildung 32: Netzinfrastruktur der VDI für die Wirtschaftsschule Steinfurt



Die Thin-Clients befinden sich in einem separaten neu angelegten IP-Netzwerk *WSST-ThinClients* (10.2.10.0/24). Diese kommunizieren über das Protokoll PC-over-IP (PCoIP) mit den Connection-Servern der VDI im IP-Netzwerk *WSST-Server* (10.2.1.0/24). Die virtuellen Desktops werden über eine VMWare Server-Infrastruktur im IP-Netzwerk *WSST-Clients* (10.2.2.0/24) im RZ am Standort Steinfurt bereitgestellt. Für die Qualitätssicherung wurde das IP-Netzwerk *WSST-Maintenance* (10.2.20.0/24) eingerichtet, das nur in der Datenverarbeitungszentrale der Fachhochschule Münster bereitgestellt wurde. Mit Hilfe dieses Netzes konnten Wartungsarbeiten und die Thin Client-Umgebung der Wirtschaftsschule Steinfurt in der Datenverarbeitungszentrale der Fachhochschule Münster real nachgebildet werden, ohne dabei vor Ort in der Wirtschaftsschule Steinfurt zu sein. Abb. 32 zeigt die Netzinfrastruktur der VDI-Umgebung.

Für die Integration der virtuellen Desktops in die vorhandene Infrastruktur der Wirtschaftsschule Steinfurt waren Eingriffe in das Routing des Datennetzes der Wirtschaftsschule Steinfurt (10.1.1.0/24) aus folgenden Gründen erforderlich:

- die Anmeldung mit den bereits vorhandenen Schul-Kennungen sollte an den virtuellen Desktops erfolgen;
- der Zugriff auf die Daten eines Benutzers, beispielsweise das Home-Laufwerk, sollte auch von den virtuellen Desktops auf den Schuleigenen Novell-Server möglich sein;
- von den virtuellen Desktops sollte auch auf Dienste im Datennetz der Wirtschaftsschule Steinfurt zugegriffen werden können, beispielsweise Drucker in der Wirtschaftsschule Steinfurt;
- der Internet-Zugang sollte von den virtuellen Desktops über das Gateway in der Wirtschaftsschule Steinfurt erfolgen.

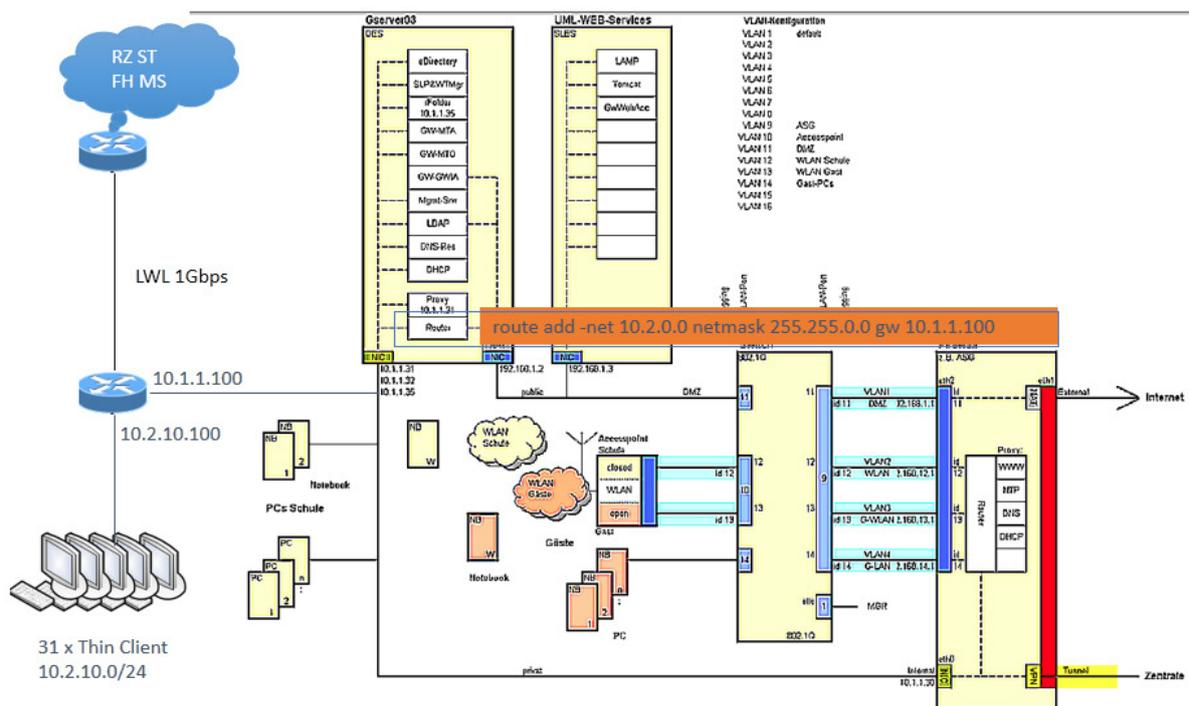


Abbildung 33: Integration der VDI in das Datennetz der Wirtschaftsschule Steinfurt



Einsatz ist, wurden für die VMWare View Umgebung zwei MS Domain Controller (*WSST-AD01* und *WSST-AD02*) im Active/Active-Betrieb eingerichtet. Die Zuweisung eines virtuellen Desktops ist im Gegensatz zur Referenz-Implementierung von VMWare View an genau einen physischen Thin Client gebunden. Für die Bereitstellung der 31 virtuellen Desktops, inklusive der Server für die VMWare View Umgebung wurden 2 Dell Blade M610 Systeme mit der folgenden Ausstattung eingesetzt:

- 2 x Intel Xeon X5675 (6 Cores, 3.06 GHz, 12 MB Cache)
- 96 GB RAM (Dual Rank LV RDIMMS, 1333 MHz)
- QLogic QME2572 (8 Gbit/s Dual Port Fibre Channel HBA)

Bei Verzicht auf die Hochverfügbarkeit der VDI würde für die gesamte Umgebung nur ein Dell M610 Server-System benötigt.

4.3 Integration der Desktops in die VDI

Die Zuweisung eines virtuellen Desktops erfolgt in der VMWare View-Umgebung benutzerbasiert. Dies widerspricht dem Konzept von VMWare View, da die physischen Desktop-PCs an der Wirtschaftsschule Steinfurt festen Positionen in den Klassenräumen zugeordnet sind. Die physikalische Zuordnung ist für den Unterrichtsbetrieb erforderlich, bei dem jeder PC über den Lehrer-Arbeitsplatz gesteuert werden kann, unabhängig vom angemeldeten Benutzer. Realisiert wird dies über die Schul-Software paedML, die die PCs in einer Client/Server-Struktur verwaltet. Dabei wird jeder PC mit einer eindeutige ID versehen, die unabhängig von dessen IP-Adresse ist und einer festen Position im Klassenraum zugewiesen ist.

Der einmalige Registrierungsvorgang eines PCs in der paedML Software erfolgt auf Seite des paedML Servers, der auf dem Novell-Server ausgeführt wird. Auf Seite des Clients werden dabei spezielle Registry-Werte im MS Windows-Betriebssystem gesetzt, so dass jeder PC nach der Registrierung ein Individuum darstellt. Dies machte die Verwendung eines „Automated Pool“ und den Einsatz von „Linked-Clone Desktops“ in der VMWare View-Umgebung unmöglich. Stattdessen wurde ein „Manual Pool“ angelegt, in den die virtuellen Desktops händisch integriert wurden.

Die virtuellen Desktops sind als Image eines nicht in paedML registrierten physikalischen PCs der Wirtschaftsschule Steinfurt mittels des VMWare Converters erstellt worden. Die Virtualisierung der Desktops erforderte eine Anpassung in den folgenden Punkten:

- Integration der VMWare Tools Installation des VMWare ViewAgent für die Integration in die VMWare View VDI
- Virtuelle „Hardware“-Anpassungen (CD-ROM Laufwerk entfernt, etc.)

Die virtuelle Hardware eines virtuellen Desktops wurde, wie folgt festgesetzt:

- 2 virtuelle CPUs (unlimitiert)
- 1,5 GB Hauptspeicher (mit 1,5 GB Reservierung)
- 20 GB Festplattenspeicher

Der so vorbereitete virtuelle Desktop wurde anschließend in der Verwaltungskonsole VMWare vSphere 30 mal geklont und individuell angepasst. Zu den Anpassungen



gehörten vorwiegend das Setzen eines eindeutigen Computernamens und das Bereinigen der Maschinen-ID (SID).

Anschließend konnten die 31 virtuellen Desktops dem „Manual Pool“ von VMWare View hinzugefügt werden, siehe Abb. 35. Die einmalige Registrierung jedes virtuellen Desktops in der paedML-Software wurde an den Thin Clients der Wirtschaftsschule Steinfurt vorgenommen.

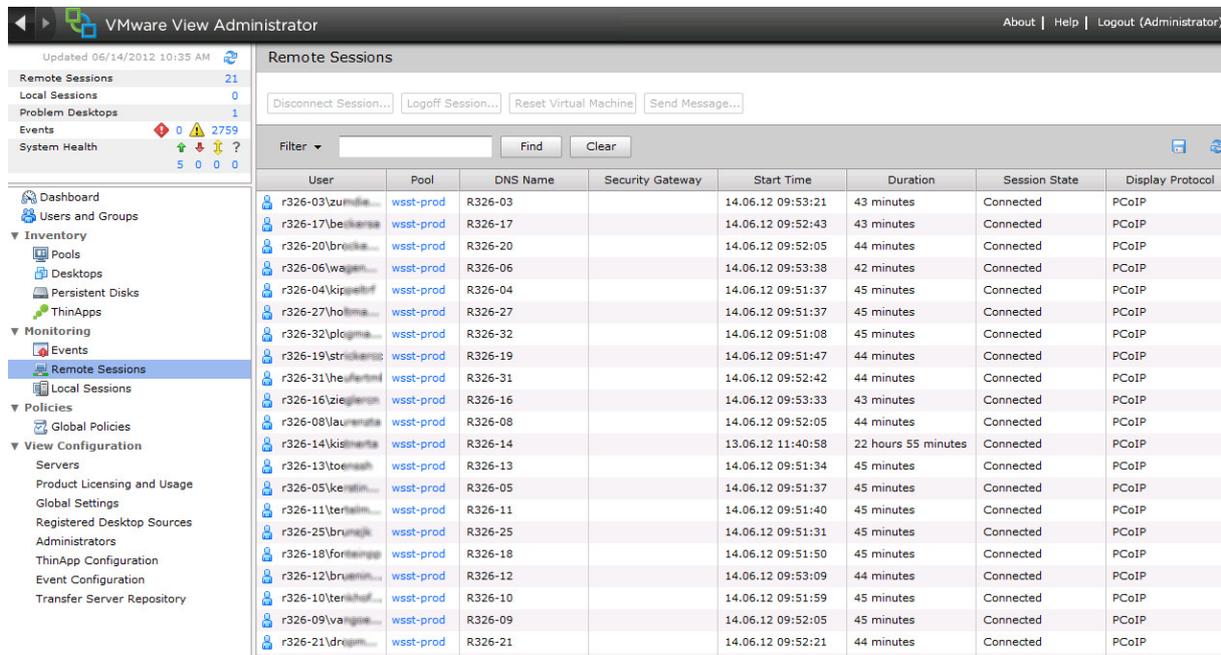


Abbildung 35: Screenshot der VMWare View Verwaltungskonsole des virtuellen Pools wsst-prod (Benutzernamen wurden unkenntlich gemacht)

4.4 Der Anmeldevorgang im Detail

Für die feste Zuweisung eines virtuellen Desktops zu einem Thin Client in der Wirtschaftsschule Steinfurt wurden 31 technische Benutzerkennungen in der MS Active-Directory (Server *WSST-AD01* und *WSST-AD02*) angelegt, siehe Abb. 30.

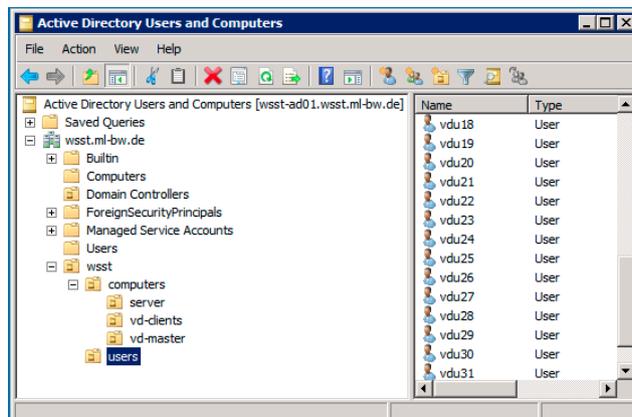


Abbildung 36: Screenshot der Active-Directory Konsole

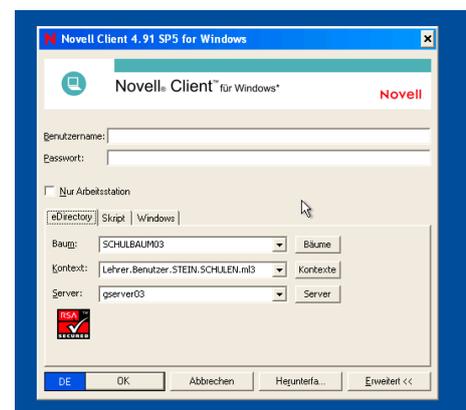


Abbildung 37: Screenshot des Anmeldebildschirm nach dem Start eines Thin Clients

In jedem Thin Client in der Wirtschaftsschule Steinfurt wurde eine andere technische Benutzerkennung hinterlegt, die beim Verbindungsaufbau automatisch an die



VMWare Connection Server übergeben wird. Daraufhin wird auf dem Thin Client der fest zugewiesene virtuelle Desktop mit der Anmeldung an dem Novell Server angezeigt, siehe Abb. 38. Über diesen Anmeldebildschirm meldet sich der Benutzer mit seiner Schul-Kennung, wie bei den physikalischen PCs, an dem Novell Server in der Wirtschaftsschule Steinfurt an.

Beim Abmelden wird zunächst der Benutzer des virtuellen Desktops beim Novell Server abgemeldet und danach die Verbindung zu den VMWare Connection Servern getrennt. Daraufhin baut der Thin Client automatisch eine neue Verbindung mit dem hinterlegten technischen Benutzer zu den VMWare Connection Servern auf.

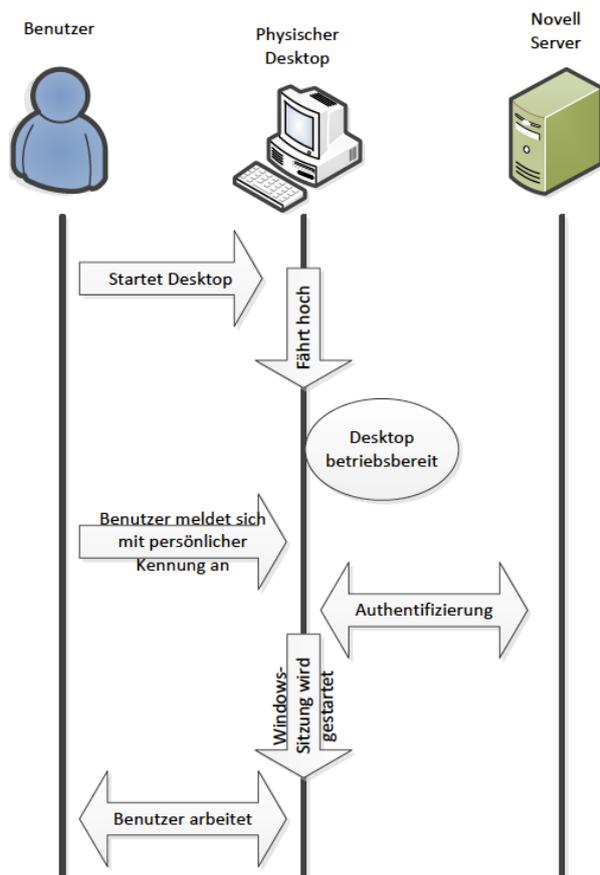


Abbildung 38: Anmeldeprozess am physikalischen PC in der Wirtschaftsschule Steinfurt

Der gesamte Anmeldevorgang in der VDI kann der Abb. 39 entnommen werden. Ab dem Ereignis „Benutzer meldet sich mit persönlicher Kennung an“ beginnt derselbe Anmeldevorgang wie bei einem physikalischen PC in der Wirtschaftsschule Steinfurt, siehe Abb. 37.

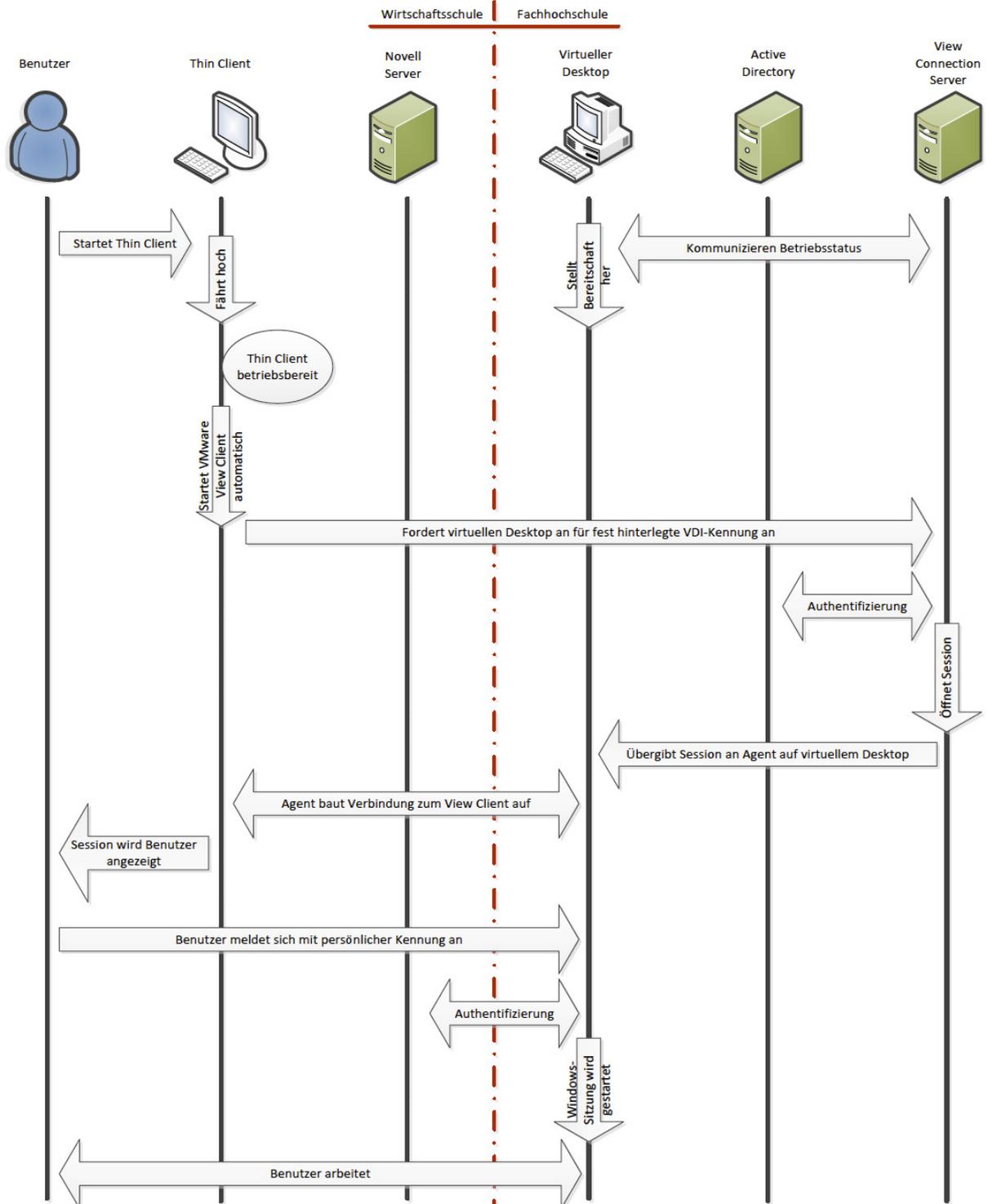


Abbildung 39: Anmeldeprozess am Thin Client der Wirtschaftsschule Steinfurt



4.5 Performance und Leistungsdaten

Die VMWare View Umgebung wurde in einem separaten Cluster, bestehend aus 2 ESXI-Hostsystemen vom Typ Dell Blade M610, siehe Abschnitt 4.2, im RZ am Standort Steinfurt betrieben.

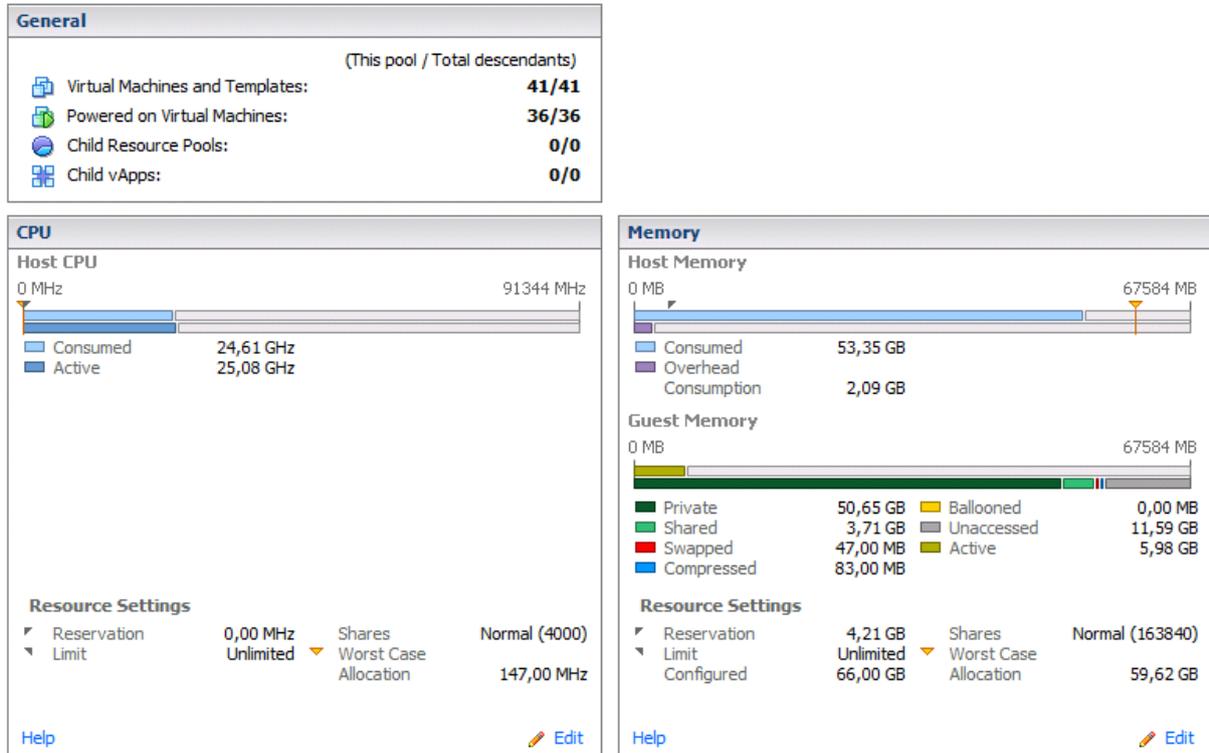


Abbildung 40: Screenshot der Leistungsübersicht der VDI für die Wirtschaftsschule Steinfurt in der VMWare Verwaltungskonsole

Für die 31 virtuellen Desktops wurden 46,5 GB Arbeitsspeicher reserviert, siehe Abb. 40. Der verbrauchte Arbeitsspeicher liegt bei 53,35 GB (Consumed), das auf die Anzahl von 5 weiteren virtuellen Desktops zum Testen zurückzuführen ist.

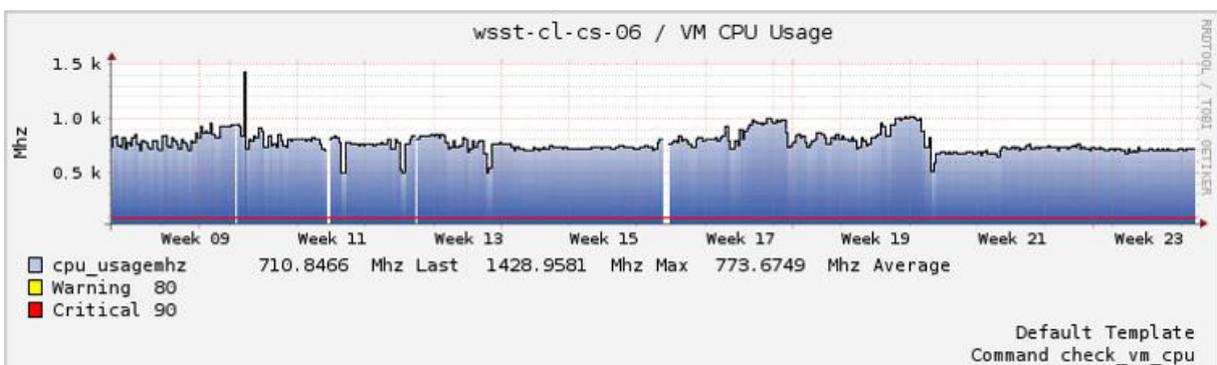


Abbildung 41: Prozessorauslastung eines virtuellen Desktops des Images der Wirtschaftsschule Steinfurt

Auffallend hoch ist die Prozessorauslastung mit 24,61 GHz für 36 virtuelle Desktops, siehe Abb. 40. Dies ist auf das von der Wirtschaftsschule Steinfurt bereit gestellte Image zurückzuführen. Nach genauerer Betrachtung verbraucht ein nicht benutzter virtueller Desktop im Idle-Zustand ca. 700 MHz Prozessorlast, siehe Abb. 41.



Zur weiteren Analyse wurde ein weiterer virtueller Desktop mit dem Betriebssystem MS Windows XP vom Installationsmedium neu installiert und mit den VMWare Tools und VMWare View Agent ausgestattet. Die weiteren Software-Pakete, wie im Image eines PC der Wirtschaftsschule Steinfurt, wurden dabei nicht installiert. Als Ergebnis erhielten wir eine Prozessorauslastung von nur ca. 5 MHz im Idle-Zustand dieses neu installierten virtuellen Desktops.

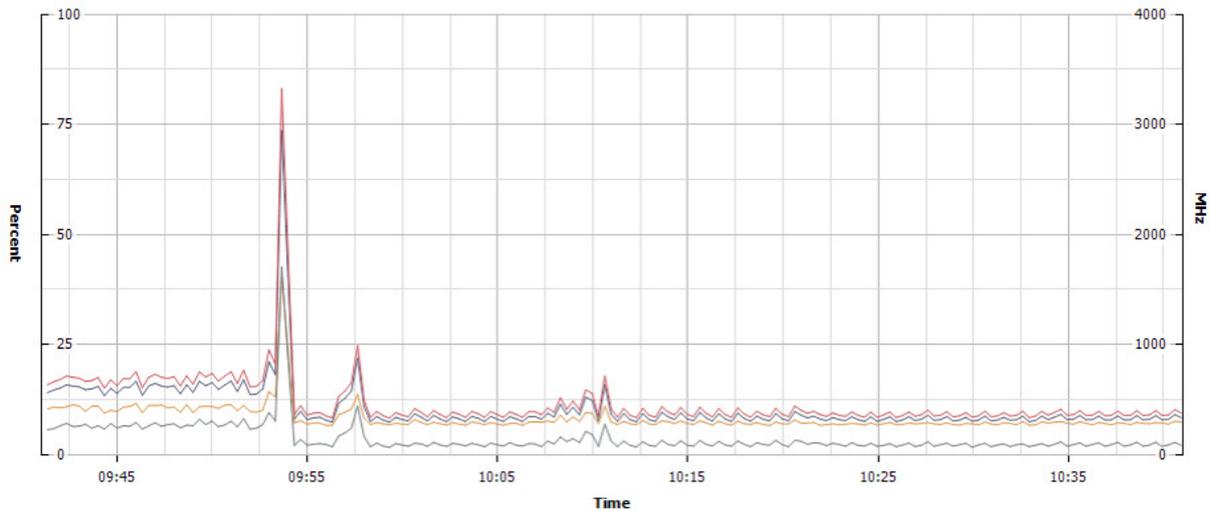


Abbildung 42: Prozessorauslastung eines virtuellen Desktops im Anmeldevorgang

Um einen zügigen Anmeldevorgang eines virtuellen Desktops sicherzustellen müssen ausreichend Prozessor- und Arbeitsspeicher-Ressourcen innerhalb der VDI bereitgestellt werden, deutlich zu erkennen in Abb. 42 und 43 um ca. 9:54 Uhr.

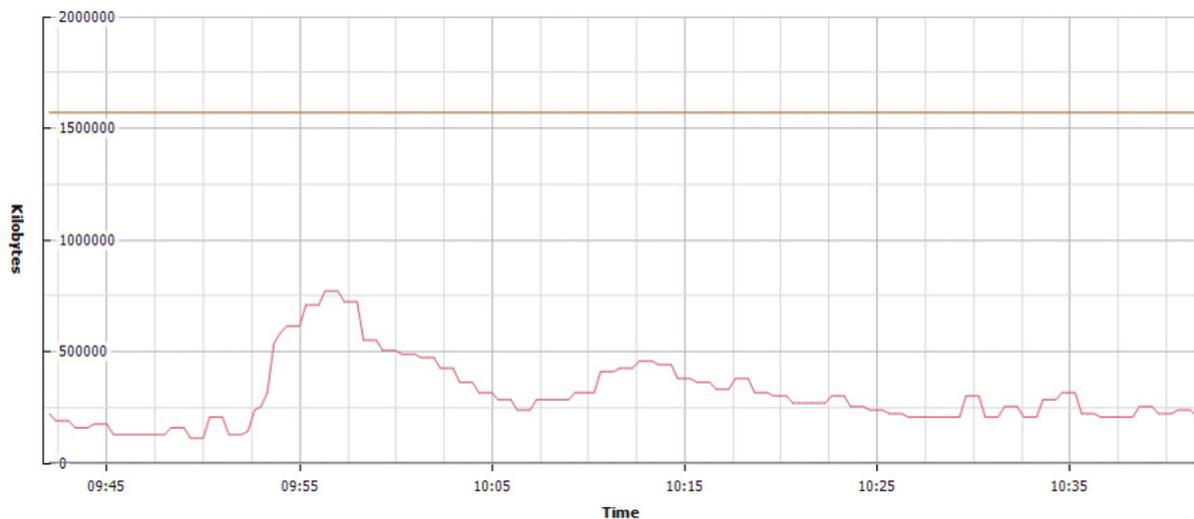


Abbildung 43: Arbeitsspeicherauslastung eines virtuellen Desktops im Anmeldevorgang

Dabei ist zu beachten, dass der Anmeldevorgang stoßartig beim Betreten der Schüler in den Klassenraum passiert. Die von den beiden Dell Blade M610 Hostsystemen bereitgestellten Prozessor-Ressourcen (2 x 36 GHz) stellen keinen Engpass dar. Ein einzelnes Hostsystems war aufgrund der hohen Prozessor-



Auslastung der virtuellen Desktops im Idle-Betrieb oftmals überlastet. Dieses war aber auf das Image zurückzuführen. Ein Server sollte bei einem optimierten Image für bis zu 40 virtuelle Desktops ausreichen.

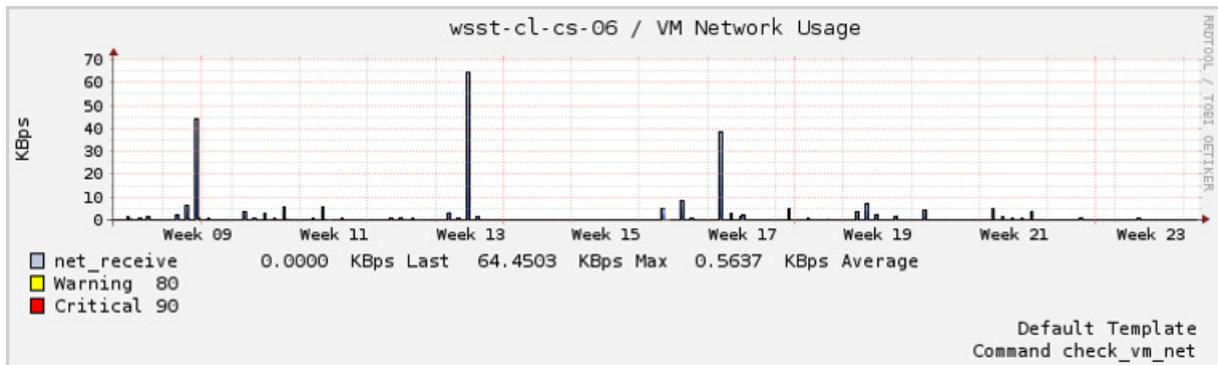


Abbildung 44: Datennetzbelastung eines virtuellen Desktops der Wirtschaftsschule Steinfurt (Diagramm zeigt nur die Empfangsrichtung)

Die Netzbelastung eines virtuellen Desktops der Wirtschaftsschule Steinfurt ist sehr gering. Dies ist auf die Raumauslastung des Raums 326 an der Wirtschaftsschule Steinfurt und das Nutzerverhalten zurückzuführen. Zudem ist das PCoIP-Protokoll für langsame WAN-Verbindungen (ab 128 kbps) ausgelegt. Die Netzlast steigt deutlich auf bis zu 50 Mbit/s bei stark ändernden Bildschirminhalten an, wie beispielsweise das Abspielen von Videos.

Zu berücksichtigen ist auch, dass das Messen der Netzlast nur punktuell erfolgt. Somit wird eine Netzlast in den Diagrammen nur dann angezeigt, wenn sie auch während des Messzeitpunktes vorhanden ist. Die Erfassung der Messwerte für die Prozessorauslastung (Abb. 42), der Arbeitsspeicherauslastung und der Netzbelastung (Abb. 44) eines virtuellen Desktops erfolgte alle 5 Minuten über das zentrale Monitoring des RZ am Standort Steinfurt.

5. Resümee

5.1 Fazit der Schule

Ziel des Projekts war es, zu überprüfen, ob die theoretisch auf der Hand liegenden Vorteile einer Umstellung von Fat Clients auf Thin Clients hinsichtlich einer geringeren thermischen Belastung von PC-Räumen und reduzierten Stromverbrauchs praktisch erzielt werden und administrativ umsetzbar sind.

Sowohl unter dem Gesichtspunkt der Wartung und Administration der Systeme als auch beim Unterrichtseinsatz zeigten sich durch den Einsatz der Thin-Clients deutliche Vorteile gegenüber dem Einsatz von Fat-Clients, die in der Schule administriert und gewartet werden müssen.

Die Virtualisierung verringert den Aufwand für die Implementierung und Konfiguration von Software erheblich, da diese Arbeiten zentral auf dem Server ausgeführt werden können. Das Imaging bzw. das Nachbearbeiten von Einzelarbeitsplätzen wegen unterschiedlicher Hardwareplattformen entfällt. Durch diese zentrale Arbeitsweise kann auch der Virenschutz bzw. die Beseitigung von Computerviren wesentlich



effizienter durchgeführt werden. Manipulationen an der Software durch Schüler sind zwar möglich, werden aber bei jedem Neustart wieder zurückgesetzt.

Beim Einsatz von Thin-Clients entfällt die zeitintensive Beseitigung von Hardwaredefekten, wie z.B. beschädigte Festplatten oder CD-Laufwerken. Im praktischen Einsatz zeigten sich die Thin-Clients als robust und wenig stör anfällig. Da keine Festplattenzugriffe mehr erfolgen müssen, booten die Arbeitsplätze deutlich schneller. Damit führte die Kombination von Virtualisierung und Thin-Clients auch zu einer Zeitersparnis beim Startprozess.

Diesen Vorteilen für die Administration und Betreuung des pädagogischen Netzwerkes und den Second-Level-Support in der Schule standen allerdings auch in der Anfangsphase des Projektes einige Nachteile gegenüber. Bedingt durch die Infrastruktur der pädagogischen Software traten Probleme bei der Anmeldung der Arbeitsplätze, insbesondere auch bei Mehrfachanmeldungen von Arbeitsplätzen auf. Diese Probleme konnten durch Änderungen der Anmeldeprozedur und der Bereitstellung von mehr vorbereiteten Desktops behoben werden. Die gute Zusammenarbeit und Abstimmung mit der Datenverarbeitungszentrale der Fachhochschule Münster als Administrator war in diesem Bereich hilfreich.

Nach unseren Erfahrungen halten wir den Einsatz von Thin Clients für sinnvoll und zukunftsorientiert. Der Aufwand für den First-Level- und besonders auch für den Second-Level-Support in der Schule kann dadurch erheblich reduziert werden.

5.2 Fazit des Schulträgers

Das Projekt zeigt, dass mit einem gewissen zeitlichen Vorlauf eine Umstellung auf Thin-Clients erfolgreich erfolgen kann. Die Nutzerzufriedenheit mit der Rechnerleistung war nach Behebung der anfänglichen Probleme gut. Die erhoffte Temperaturreduzierung im Klassenraum konnte zwar nicht erzielt werden, gleichwohl führt die Umstellung zumindest tendenziell zu einer thermischen Entlastung. Es besteht ein Potential von über 40 % Stromeinsparung und 17 kg CO₂ Reduktion je Jahr und Schülerarbeitsplatz.

Es zeigte sich, dass durch die nur halb so hohe Leistungsaufnahme der Thin-Clients gegenüber herkömmlichen PC die Stromeinsparung erheblich sein kann. Bedingung hierfür ist jedoch das Ausschalten der Server- und Storageeinheiten nach der Unterrichtszeit. Hardwaremehrkosten sind für die Umrüstung auf Thin Clients statt auf übliche Fat Clients grundsätzlich nicht zu verzeichnen. Allerdings ist dieses auch individuell davon abhängig, wie die vorhandene Serverlandschaft aufgebaut ist und wie hoch die laufenden und einmaligen Kosten für die Breitbandverbindung zwischen Klassen- und Serverraum sind. Weiterhin sind auch die Lizenzgebühren für die erforderliche Virtualisierungsplattform und deren administrative Betreuung zu berücksichtigen.

Das konkret durchgeführte Projekt war in dieser Form nicht wirtschaftlich. Dieses ist auf den Pilotcharakter und die damit verbundenen hohen Kosten für die Einrichtung, Administration und Projektdokumentation durch die Fachhochschule Münster sowie die fehlende Möglichkeit zur Abschaltung von Server und Storage außerhalb der Unterrichtszeiten zurück zu führen. Vor Überführung in die tatsächliche



Administration durch Dritte ist eine angemessene Preisabfrage am Markt durchzuführen. Weitere Alternativen, wie z. B. die Administration durch den Schulträger oder Lehrer/innen sind denkbar und sollten betriebswirtschaftlich bewertet werden.

Ohne die Berücksichtigung der Administrationskosten – die höher oder niedriger sein können und für jeden Fall einzeln zu prüfen sind – verspricht die Thin Client-Lösung bei einem möglichen Abstellen der Server außerhalb der aktiven Nutzungszeiten eine Stromersparung von ca. 27 kWh je Arbeitsplatz und Jahr.

Wesentlich ist eine sorgfältige Planung der Umstellung und intensive Begleitung in der Anfangsphase durch die IT-Administration. Die wesentlichen Vorteile in den untersuchten Bereichen können zu einem umwelt-, zukunftgerechten, und kostenreduzierenden Betrieb von PC-Räumen – oder sollte es zukünftig TC-Räumen heißen? – in den Schulen führen.



Impressum

Herausgeber: Landrat des Kreises Steinfurt
Baudezernat
Tecklenburger Str. 10, 48565 Steinfurt

Redaktion: Dipl.-Inform. Markus Bajohr
Studiendirektor Claus Schürmeier
Dipl.-Wirtling. Andreas Bennemann

Abbildungen 1-10, 12-29, 31: Baudezernat, Kreis Steinfurt
Abbildungen 11, 30, 32-44: Fachhochschule Münster
Datentabellen: Baudezernat, Kreis Steinfurt

Druck: Kreis Steinfurt

Bezug: www.kreis-steinfurt.de

Ausgabe Juli 2014

Gefördert durch das
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit



Datenverarbeitungszentrale