

Vergleichende Luftqualitätsmessungen in Schulhäusern im Kanton Aargau



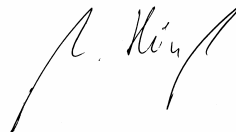
Projektnummer: 05-1057-01
Auftraggeber: Baudepartement des Kanton Aargau, Abteilung Hochbauten,
z.Hd. Herrn Beat Sigrist, Entfeldstr. 22, 5001 Aarau
Kundenreferenz: S:\DAT\PRO\MESS\2005\schulstudie ag\bericht 05-1057-01.doc
Ihr Auftrag vom: 13. Januar 2005
Ausführung der Abklärungen: Messkampagnen in der KW 8 bis KW 11
Anzahl Seiten Bericht: 38
Anzahl Seiten Laborprotokolle: 2

Zürich, 30. März 2005

BAU- UND UMWELTCHEMIE
Beratungen + Messungen AG



R. Coutalides
Geschäftsführer



Udo Heinss
Projektleitung

Dieser Bericht besteht aus oben genannter Anzahl Seiten einschliesslich Deckblatt und darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassung oder Hinzufügung, veröffentlicht werden. Wird er auszugsweise vervielfältigt, so ist vorab die Genehmigung der Firma *BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG*, Zürich einzuholen. Dieser Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Bedachtnahme aller bekannten und erhobenen Umstände erstellt. Für die Aussagen des Berichts hinausgehende Folgerungen und Konsequenzen übernehmen die Aussteller keinerlei Haftung.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	4
2. Untersuchte Schulhäuser	5
3. Untersuchungen	6
4. Ergebnisse	7
5. Fotodokumentation	15
6. Diskussion der Ergebnisse	17
7. Anhang I: Ergebnisse der Klimamessungen	19
8. Anhang II: Messmethode	38
9. Anhang III: Laboranalyseberichte	38

1. Zusammenfassung

Für eine vergleichende Untersuchung zwischen Schulhäusern mit mechanischer Lüftung (Minergie Standard) und neu erbauten Schulhäusern mit Fensterlüftung wurden jeweils 3 Schulhäuser jeder Kategorie ausgewählt. Es wurden kontinuierliche Messungen der Raumklimaparameter CO₂, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit über mindestens eine Woche ausgeführt. Um den hygienischen Zustand der Lüftungsanlage und die Qualität der dem Raum zugeführten Luft einschätzen zu können, wurden vergleichende Messungen der Feinstaubkonzentration und der Gesamtkeimzahl in der Aussenluft (Aussenluftfassung) und im Zuluftstrom ausgeführt.

SCHULHÄUSER MIT FENSTERLÜFTUNG

Es zeigt sich, dass bei einer dichten Gebäudehülle und stark belegten Räumen, die regelmässig praktizierte Fensterlüftung in den Pausen nicht ausreicht, um eine befriedigende Raumluftqualität zu realisieren. In diesen Fällen wurden CO₂-Konzentrationen von über 2'000 ppm über einen Grossteil der Unterrichtszeit gemessen. Es empfehlen sich Massnahmen zur Verbesserung des Raumluftwechsels, wie Vergrösserung der offenbaren Fensterfläche (Drehfenster), Gegenlüften statt einseitigem Lüften, Lüften während dem Unterricht.

SCHULHÄUSER MIT MECHANISCHER LÜFTUNG

Erwartungsgemäss ist die Raumluftqualität in den Räumen mit mechanischer Lüftung deutlich besser als in den Schulräumen mit Fensterlüftung. Die untersuchten Schulhäuser mit mechanischer Lüftung erfüllen, abgesehen von kurzen einzelnen minimalen Überschreitungen, die Vorgaben für die CO₂-Konzentration. In Schulhäusern mit knapper bemessenen Zuluftstrom zeigt sich, dass eine zusätzliche Pausenlüftung mittels Fenster, insbesondere bei hoher Raumbelegung, sinnvoll ist. In einem Schulhaus mit reichlich bemessenem Zuluftstrom könnte dieser zumindest während kalter Witterung reduziert werden, um die relative Luftfeuchtigkeit im Raum während dem Winter zu erhöhen.

HYGIENISCHER ZUSTAND DER RLT-ANLAGEN

Die Messungen zeigen weiter, dass die installierten raumlufttechnischen Anlagen in einem hygienisch guten Zustand sind, und die den Räumen zugeführte Luft generell eine bessere Qualität bezüglich Feinstaub und Keimen als die Aussenluft aufweist. Bei Schulhäusern mit Fensterlüftung entsprechen diese Parameter der Aussenluft.

Insgesamt empfehlen wir den punktuellen Einsatz von so genannten Lüftungsampeln, die die Raumluftqualität visualisieren und mit deren Einsatz das Lüftungsverhalten der Lehrer den Erfordernissen einer guten Raumluftqualität angepasst werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass kontrollierte Raumlüftungsanlagen für Schulneubauten mit dichter Gebäudehülle und stark belegten Räumen eigentlich notwendig sind, um eine gute Raumluftqualität zu gewährleisten.

2. Untersuchte Schulhäuser

Im Kanton Aargau existieren Schulhausneubauten die noch ohne mechanische Lüftung erstellt wurden, als auch Schulhäuser mit Minergie-Lüftung. Für die vergleichenden Untersuchungen wurden insgesamt 6 repräsentative Schulhäuser ausgewählt, wobei jeweils drei mit und drei ohne mechanische Lüftung gewählt wurden. In jedem Schulhaus wurden 2 Schulzimmer untersucht (mit Ausnahme des Schulhauses Veltheim 1 Raum und des Schulhauses „Höchi“ Baden/Dättwil 3 Räume). Untenstehende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung der Objekte.

Tab. 1: Zusammenstellung der untersuchten Objekte

Schulhaus	Baujahr	Untersuchte Räume und Raumbelegung	Lüftungsart
Langmatt, Brugg Laufohr	1997	UG 5: 12-15 Kinder Raum 18: 12-19 Kinder	Fensterlüftung
Höchi, Baden-Dättwil	2000	Raum 16 + 27 mit Lüftung: 11-21 Kinder Raum 23 Fensterlüftung: 12-24 Kinder	Mechanische Lüftung (über Bodenauslass) und teilw. Fensterlüftung (alter Teil)
Schulhaus E, Merenschwand	2002	E 03: 12 Kinder E23: 21 Kinder	Mechanische Lüftung (über Schranksockel gegenüber Fensterseite)
Schulhaus Veltheim	1997/98	Haus 7 Raum 9: 26-28 Kinder	Fensterlüftung
Schulhaus Seengen	2004	Raum Wernli: 10-22 Kinder Raum Kindler: 10-21 Kinder	Mechanische Lüftung (über aufgehängte Stoffröhre an der Stirnseite)
Winkel, Sarmenstorf	1995/97	Raum 12: 26-27 Kinder Raum 23: 11-20 Kinder	Fensterlüftung

3. Untersuchungen

BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG wurde beauftragt mittels Raumluftmessungen unter Nutzungsbedingungen die Luftqualität in beiden Schulhaustypen (mit und ohne mechanische Lüftung) anhand von ausgewählten Schulhäusern zu vergleichen. Für diese Studie wurden jeweils drei Schulhäuser mit Minergie-Lüftung, und drei Schulhäuser ohne Minergie-Lüftung untersucht. Folgende Untersuchungen wurden ausgeführt:

KONTINUIERLICHE MESSUNGEN DER KOHLENDIOXIDKONZENTRATION

CO₂ wird als leicht zu bestimmender Indikator für die hygienische Raumluftqualität genutzt, da er als Produkt der menschlichen Atmung ein unmittelbarer Ausdruck der Nutzungsintensität eines Raumes ist.

In allen Schulzimmern wurden CO₂-Messgeräte aufgestellt. Mittels Logger wurde im Abstand von 2 Minuten die aktuelle CO₂-Konzentration gespeichert. Die Messdauer betrug mehr als eine Woche. Die Konzentration wird in ppm¹ angegeben. Die Geräte wurden einheitlich auf der Fensterseite im Bereich des Lehrertisches (Stirnseite) aufgestellt. Entsprechend unseren Erfahrungen gibt es in einem Schulzimmer nur geringe räumliche Unterschiede in der CO₂-Konzentration. Die Lehrer wurden dazu aufgefordert die Dauer der Raumnutzung, die Personenbelegung, die Fensterlüftung und spezielle Raumnutzungen während der Messung zu dokumentieren.

KONTINUIERLICHE MESSUNGEN DER TEMPERATUR UND DER RELATIVEN LUFTFEUCHTE

Parallel zur CO₂-Messung erfolgte die Aufzeichnung der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit als allgemeine Raumklimaparameter.

FEINSTAUBMESSUNGEN UND MESSUNGEN DER GESAMTKEIMZAHL

Um den hygienischen Zustand der Lüftungsanlage und die Qualität der dem Raum zugeführten Luft einschätzen zu können, wurden vergleichende Messungen der Feinstaubkonzentration und der Gesamtkeimzahl in der Aussenluft (Aussenluftfassung) und im Zuluftstrom ausgeführt. Es wurde die Zuluftqualität in den gleichen Räumen gemessen, in denen auch die CO₂-Messungen stattfanden. Mittels dieser Messungen kann eine Verschmutzung der Belüftungsanlage erkannt werden. Bakterien werden mit der Gesamtkeimzahl erfasst. Erhöhte Schimmelpilzsporen-Konzentrationen werden bei der Feinstaubmessung als erhöhte Partikel Konzentrationen erfasst. Es wurde die Anzahl der Partikel der Grössenklassen >0.75 µm und >2.0 µm bestimmt.

¹ 1 ppm-(part per million) entspricht 0.0001%

4. Ergebnisse

KONTINUIERLICHE MESSUNGEN DER KOHLENDIOXIDKONZENTRATION

Die Auswertung der kontinuierlichen Messung der Kohlendioxidkonzentration und die grafische Darstellung der Resultate finden sich im Anhang I (Seite 19). Tabellarisch sind hier die während den jeweiligen Nutzungszeiten der Räume aufgetretenen Durchschnitts- und Spitzenkonzentrationen aufgeführt. Die Nutzungszeiten wurden entsprechend den von den Lehrern protokollierten Zeiten eingesetzt. Bei unvollständigen Protokollen, wurden die Nutzungszeiten entsprechend dem CO₂-Verlauf angenommen².

Zusammenfassend wird die für die einzelnen Schulhäuser während der Beobachtungsperiode gefundene CO₂-Konzentration in Tabelle 2 aufgeführt.

Tab. 2: Zusammenstellung der hauptsächlich vorherrschenden Kohlendioxidkonzentrationen während der Nutzungszeit in den einzelnen Schulhäusern

Schulhaus	Lüftungsart	Raumbelegung Anzahl Kinder	Vorherrschende CO ₂ -Konzentration während der Nutzungszeit			
			<800	<1'000	<1'500	>2000
Langmatt, Brugg Laufohr	Fenster	Mehrheitlich 15-19				
Schulhaus Veltheim	Fenster	Mehrheitlich 27				
Winkel, Sarmenstorf	Fenster	Mehrheitlich 20-27				
Höchi, Baden-Dättwil	Fenster	Mehrheitlich 24				
Höchi, Baden-Dättwil	Minergie	Mehrheitlich 11-18				
Schulhaus E, Merenschwand	Minergie	Mehrheitlich 12-21				
Schulhaus Seengen	Minergie	Mehrheitlich 20				

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die einzelnen Schulhäuser vorgestellt. Daran anschliessend wird eine Bewertung der Kohlendioxidkonzentration in Schulräumen vorgestellt.

Schulhaus Langmatt, Brugg Laufohr

Die Belegung der zwei untersuchten Schulräume ist im Vergleich zu den anderen untersuchten Schulhäusern relativ gering. Insbesondere im UG 5 sind nie mehr als 15 Kinder im Raum. Die Lüftung erfolgt regelmässig 5-10 Minuten. Vereinzelt treten Spitzenkonzentrationen von über 1'500 ppm auf. Die durchschnittliche CO₂-Konzentration liegt im Bereich 1'000 ppm, zeitweise darüber und zeitweise auch darunter.

Schulhaus Veltheim

Der untersuchte Raum weist eine hohe Schülerbelegung auf. Die durchschnittlichen Konzentrationen liegen fast immer über 2'000 ppm, mit Spitzenkonzentrationen von über 3'000 ppm. Dies trotz regelmässiger Lüftung in jeder Schulpause von mindestens 5 Minuten. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Verlauf der CO₂-Konzentration für den 10. März 2005.

² Eine Nutzungsperiode beginnt mit dem deutlichen Anstieg der CO₂-Konzentration (Personen halten sich im Raum auf) und endet mit dem Abfall der CO₂-Konzentration (Personen verlassen den Raum bzw. es wird gelüftet).

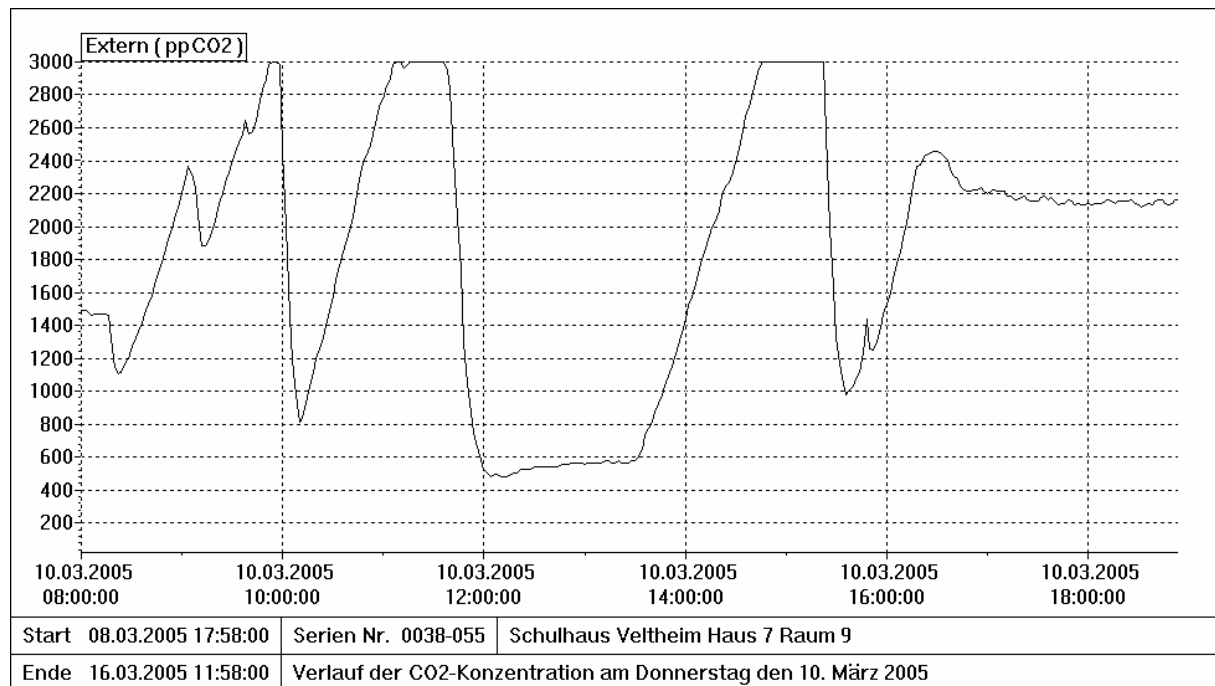


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung des Tagesganges der CO₂-Konzentration in einem Raum mit Fensterlüftung und mit hoher Schülerbelegung (26 Kinder)

Am Morgen herrscht vom vorhergehenden Tag immer noch eine relative hohe CO₂-Konzentration von 1'500 ppm, die durch erstmaliges Lüften auf 1'100 ppm gesenkt wird. Danach steigt die Konzentration zu Beginn der Unterrichtseinheit steil an. In der ersten Pause erfolgt eine Lüftung von 9.05 bis 9.10 die aber nur zu einer leichten Verringerung der CO₂-Konzentration bis auf 1'900 ppm führt. Mit dieser Konzentration startet die nächste Unterrichtseinheit. Die Konzentration steigt bis über 3'000 ppm. Es folgt eine 15-minütige Lüftung, die aber nicht ausreicht, die Konzentration auf Aussenluftniveau zu senken. Die Konzentration steigt während des Unterrichts wieder auf über 3'000 ppm. Durch die hierauf folgende Lüftung von 11.45 bis 12.00 Uhr kann die CO₂-Konzentration dann auf Werte im Bereich der Aussenluft gesenkt werden, d.h. ein vollständiger Luftwechsel im Raum wird realisiert. Der Konzentrationsverlauf am Nachmittag gleicht dem am Vormittag. 5 bis 10-minütige Lüftungen bringen nur eine leicht unzureichende Konzentrationsabnahme im Raum, es ist mindestens eine 15-minütige Lüftung für einen vollständigen Raumlüftung notwendig. Die Dichtigkeit der Gebäudehülle kann entsprechend der sehr langsamen CO₂-Abnahme am Wochenende eingeschätzt werden und liegt im Bereich von 0.016 h⁻¹. Die Gebäudehülle scheint damit dichter, als beim Schulhaus Brugg, bei dem auf der Grundlage der Konzentrationsabnahme am Wochenende ein passiver Raumlüftung von 0.05-0.1 h⁻¹ abgeschätzt werden kann.

Schulhaus Winkel, Sarmenstorf

Es ergibt sich ein ähnliches Bild, wie für das Schulhaus Veltheim. Das Gebäude hat eine sehr dichte Gebäudehülle (abgeschätzt 0.014 h⁻¹) und die untersuchten Räume weisen eine hohe Schülerbelegung auf. Die regelmässigen 5-10 minütigen Lüftungen verringern die CO₂-Konzentration nur ungenügend. In fast jeder Unterrichtseinheit werden Maximalkonzentrationen von über 3'000 ppm erreicht, die bis zu 1.5 Stunden anhalten. Während solch einer Zeitperiode von 1.5 Stunden mit Konzentrationen von über 3'000 ppm

wurde beispielsweise eine 10-minütige Lüftung protokolliert, die aber offensichtlich nicht ausreichte, um die Konzentration unter 3'000 ppm zu senken.

Schulhaus Höchi, Baden Dättwil (teilweise mechanische Lüftung)

In diesem Schulhaus wurden ein Raum mit Fensterlüftung und 2 Räume mit Minergie Lüftung untersucht. Im Raum mit Fensterlüftung wurde zeitweise eine Halbklassse und zeitweise eine Vollklasse (24 Kinder) unterrichtet. Für die Halbklassse werden durchschnittliche Konzentrationen von unter 1'000 ppm gemessen. Bei der Vollklasse steigt die durchschnittliche Konzentration auf Werte um 1'500 ppm, mit Spitzenwerten von über 2'000 ppm. Bei ähnlicher Belegung in den Räumen mit Minergie-Lüftung liegen sowohl die Durchschnitts- als auch Spitzenkonzentrationen unter 1'000 ppm.

Schulhaus E, Merenschwand (mechanische Lüftung)

Die Messungen wurden in einem Raum mit einer Belegung von 12 Kindern und in einem Raum mit 21 Kindern durchgeführt. Im Raum mit 12 Kindern liegt die Durchschnittskonzentration über die Nutzungszeit permanent unter 1'000 ppm. Es werden Spitzenkonzentrationen bis zu 1'200 ppm gemessen. Im Raum mit 21 Kindern liegt die durchschnittliche Konzentration im Bereich von 1'000 ppm und es werden Spitzenwerte bis 1'500 ppm gemessen.

Der Tagesgang der CO₂-Konzentration ist beispielhaft in Abbildung 2 dargestellt.

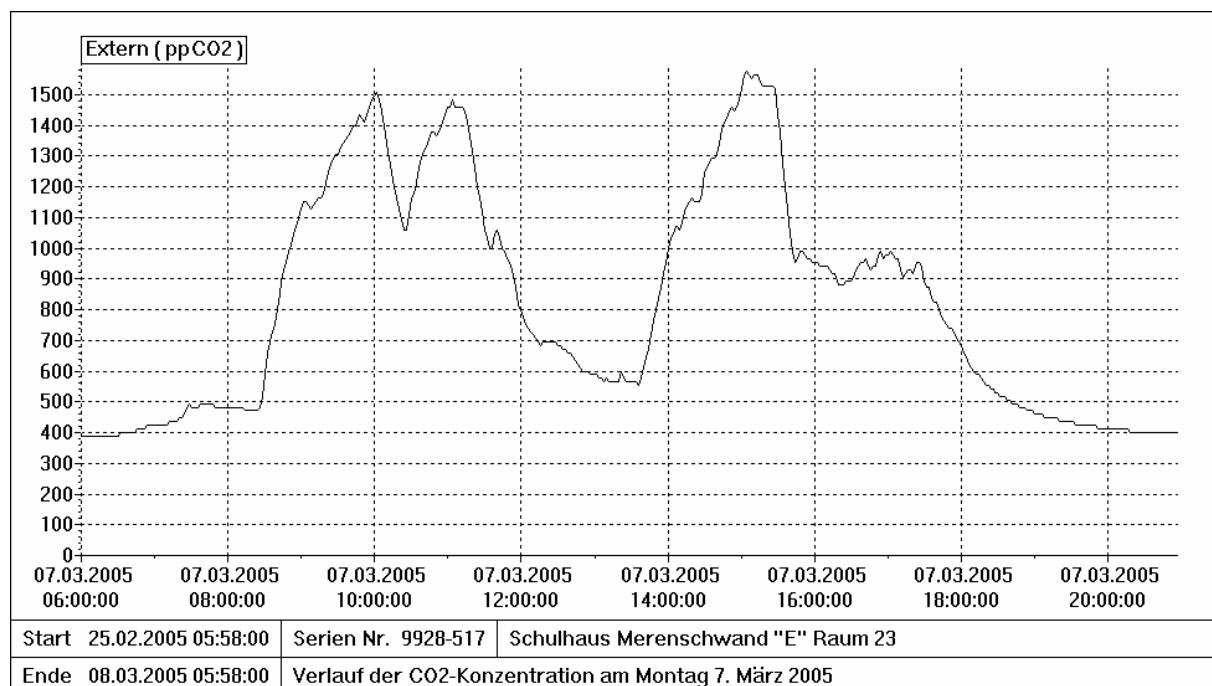


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung des Tagesganges der CO₂-Konzentration in einem Raum mit mechanischer Lüftung (21 Kinder)

Abbildung 2 zeigt, dass bei Nichtbelegung im Raum eine CO₂-Konzentration im Bereich der CO₂-Aussenluftkonzentration herrscht. Nach etwa 1 Stunde Unterricht mit einer Raumbellegung von 21 Kindern steigt die CO₂-Konzentration auf Werte bis etwa 1'500 ppm. Die durch die Lüftung eingebrachte Luftmenge reicht aus, in den Pausen bei Nichtbelegung die CO₂-Konzentration soweit zu senken, dass während dem Unterricht fast nie Werte über 1'500 ppm erreicht werden.

Schulhaus Seengen (mechanische Lüftung)

In den zwei untersuchten Räumen wechselte die Raumbelugung häufig zwischen Halb- und Vollklasse. In einem Raum wurde regelmässig zwischen den Unterrichtsstunden 5 Minuten gelüftet. Ein Vergleich der beiden Räume mit und ohne zusätzliche Fensterlüftung zeigt, dass durch die regelmässige Fensterlüftung durchschnittliche CO₂-Werte erreicht werden, die nur knapp über 1'000 ppm liegen, während im anderen Raum durchschnittliche CO₂-Konzentrationen bis 1'300 ppm gemessen werden.

Zur Bewertung der CO₂-Konzentration kann die Klassifizierung der Raumluft in Güteklassen entsprechend der CO₂-Konzentration herangezogen werden³. Hier wird für einen Raum mit sehr guter Luftqualität ein CO₂-Pegel von 800 ppm, für einen Raum mit guter Luftqualität ein CO₂-Pegel von 800-1'000 ppm gefordert. Bei einem Wert von 1'000 ppm empfinden schon 20% der Personen diese Raumluft als unbefriedigend⁴. Die Stadt Zürich legt in ihrer „Zielvereinbarung Raumluftqualität“ 1'000 ppm als maximalen Tagesmittelwert und 1'500 ppm als erlaubten Spitzenwert fest⁵. In natürlich belüfteten Räumen (Fensterlüftung) sollten Werte über 1'900 ppm nicht auftreten⁶.

Obwohl CO₂ in der Regel in Innenräumen kein unmittelbares Gesundheitsrisiko darstellt, können ab bestimmten Konzentrationen Befindlichkeitsstörungen wie zum Beispiel Beeinträchtigungen von Leistungsfähigkeit, Konzentration und Kopfschmerzen auftreten.

Tabelle 3 zeigt eine Bewertung der Luftqualität in den untersuchten Schulhäusern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in mehreren Schulräumen mit Fensterlüftung bei hoher Belegung (≥20 Schüler) trotz regelmässiger Lüftung eine ungenügende Raumluftqualität erreicht wird. Bei kleineren Klassengrössen/Halbklassen (etwa 15 Schüler) kann mit regelmässigen 10-minütigen Lüften eine vorwiegend befriedigende Raumluftqualität erreicht werden. Bei Räumen mit mechanischer Lüftung treten vor allem bei Klassengrössen ≥20 Schüler vereinzelt Überschreitungen von empfohlenen Mittel- und Maximalwerten auf. Durch zusätzliche Fensterlüftung während den Pausen können diese Überschreitungen vermieden werden. Es wird geschätzt, dass die Luftrate der Minergie-Schulhäuser etwa zwischen 20 und 25 m³/h Person liegt. Im Schulhaus Baden Dättwil, wo eine ausgezeichnete Luftqualität in den belüfteten Räumen erreicht wird, liegt die Luftrate höher bei über 30 m³/h Person.

³ SIA 382/1 bzw. SN 546382/1: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich 2004.

⁴ BUWAL, „Luftqualität in Innenräumen“, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287 1997.

⁵ Gugglerli, H., Huber H., Weber A., Schulhäuser Wieviel Luft braucht das Hirn?. Fachinformationen Hochbaudepartement der Stadt Zürich Fachstelle Nachhaltiges Bauen.

(http://www3.stzh.ch/internet/hbd/home/beraten/fachstellen/nachhaltiges_bauen/Fachinformation.html)

⁶ Arbeitskreis Innenraumlufte. Richtlinienentwurf „Physikalische Faktoren–Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter“ innerhalb der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlufte. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2004.

Tab. 3: Bewertung der Raumluftqualität in den einzelnen untersuchten Schulräumen

Schulhaus	Lüftungsart	Belegung Schüler	Lüftung (entsprechend Protokoll)	Bewertung
SH Veltheim Klassenzimmer 9	Fenster	27	Regelmässige 5,10 und 15-minütiges Lüften	Konzentration dauerhaft über 1'900 ppm. Ungenügende Raumluftqualität
SH Sarmenstorf Raum 23	Fenster	20	Regelmässiges 5-minütiges Lüften	Konzentration dauerhaft über 1'900 ppm. Ungenügende Raumluftqualität
SH Sarmenstorf Raum 12	Fenster	27	Regelmässiges 5 und 10-minütiges Lüften	Konzentration dauerhaft über 1'900 ppm. Ungenügende Raumluftqualität
SH BadenDättwil Raum 23	Fenster	12 / 24	Lüftung 15 Minuten	Vereinzelt höhere Überschreitungen von Mittelwert 1'000 / Maximalwert 1'500 ppm bei Belegung mit 24 Kindern. Unbefriedigende Raumluftqualität Bei Halbklasser gute Raumluftqualität
SH Brugg Laufrohr Raum 18	Fenster	15/19	Teilweise Fenster gekippt, ganze Zeit offen, Lüftung hinter Storen	Vereinzelt höhere Überschreitungen von Mittelwert 1'000 / Maximalwert 1'500 ppm Bei Belegung >15 Kinder Unbefriedigende Raumluftqualität Bei Belegung 15 Kinder Befriedigende Raumluftqualität
SH Brugg Laufrohr Raum UG 5	Fenster	15	Regelmässiges 5 und 10-minütiges Lüften	Vereinzelt leichte Überschreitungen von Mittelwert 1'000 / Maximalwert 1'500 ppm Befriedigende Raumluftqualität
SH Seengen Zimmer Wernli	Mechan.	12/22	Teilweise Tür offen	Vereinzelt leichte Überschreitungen von Mittelwert 1'000 / Maximalwert 1'500 ppm Befriedigende Raumluftqualität
SH Seengen Zimmer Kindler	Mechan.	10/20	Regelmässiges 5 und 10-minütiges Lüften	Die Vorgaben Mittelwert 1'000 / Maximalwert 1'500 ppm werden fast immer eingehalten Gute Raumluftqualität
SH Merenschwand E 23	Mechan.	21	Teilweise Tür offen	Die Vorgaben Mittelwert 1'000 / Maximalwert 1'500 ppm werden fast immer eingehalten Gute Raumluftqualität
SH Merenschwand E 03	Mechan.	12	Teilweise Tür offen	CO ₂ -Konzentration liegt im Bereich 800-1'000 ppm Sehr gute Raumluftqualität
SH BadenDättwil Raum 16		11/21	-	CO ₂ -Konzentration liegt mehrheitlich unter 800 ppm Ausgezeichnete Raumluftqualität
SH BadenDättwil Raum 27	Mechan.	18	-	CO ₂ -Konzentration liegt mehrheitlich unter 800 ppm Ausgezeichnete Raumluftqualität

KONTINUIERLICHE MESSUNGEN DER TEMPERATUR UND DER RELATIVEN LUFTFEUCHTE

Tabelle 4 zeigt den Bereich der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in den untersuchten Räumen. Im Anhang I (ab Seite 19) sind die Verläufe dieser Messgrößen grafisch dargestellt.

Tab. 4: Zusammenstellung der Bereiche für die raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit

Schulhaus	Lüftungsart	Temperaturbereich		Bereich relative Luftfeuchtigkeit
		°C		
		Während Nutzung	Absenkung (Nachts)	%
Langmatt, Brugg Laufuhr R 18	Fenster	22.5-25	19	15-30
Langmatt, Brugg Laufuhr UG 5	Fenster	22-23	19	20-30
Schulhaus Veltheim R 9	Fenster	23-24	19	30-45
Winkel, Sarmenstorf R 12	Fenster	20-21	18	30-42
Winkel, Sarmenstorf R 23	Fenster	24	23	15-35
Höchi, Baden-Dättwil R 23	Fenster	21-23	19	15-30
Höchi, Baden-Dättwil R 16	Minergie	22-25	19-20	15-30
Höchi, Baden-Dättwil R 27	Minergie	21-22	18.5-20	15-30
Schulhaus E, Merenschwand R 03	Minergie	22-23	17.5-19	10-20
Schulhaus E, Merenschwand R 23	Minergie	23-25	19-20	10-20
Schulhaus Seengen R Wernli	Minergie	24-25	19-20	10-30
Schulhaus Seengen R Kindler	Minergie	22-24	19-20	10-30

Die durchschnittlichen Aussentemperaturen während der Messkampagne lagen in einem Bereich zwischen -9 °C und 9 °C, die entsprechenden Werte für die relative Luftfeuchtigkeit im Bereich 50-80%. Entsprechend SIA 382/1 Anhang A, sollte die Raumtemperatur im Winter in einem Schulzimmer 21°C nicht unterschreiten. Die aufgezeichneten Werte liegen in einem normalen Bereich und widerspiegeln wahrscheinlich die individuellen Heizkörpereinstellungen der LehrerInnen entsprechend ihrem persönlichen Wärmeempfinden. In drei Schulzimmern wurden Spitzenwerte von über 30°C gemessen, welches auf Sonneneinstrahlung zurückzuführen ist (SH Brugg Laufuhr Raum 18, SH Baden-Dättwil Raum 16 und SH Seengen Raum Kindler).

Für die relative Luftfeuchtigkeit wird im Winter ein minimaler Wert von 30% gefordert. Dass heisst die relative Luftfeuchtigkeit sollte dauerhaft über diesem Wert liegen. Allerdings ist es bei kalter trockener Aussenluft an einzelnen Tagen unmöglich, ohne zusätzliche Befeuchtung oder Feuchterückgewinnung in der Abluft diesen Wert einzuhalten. Bei kalter trockener Witterung hängt die erreichbare relative Luftfeuchtigkeit von der Luftwechselrate ab. Bei hoher Luftwechselrate sinkt die relative Luftfeuchtigkeit, wie auch bei tiefer Schülerbelegung. Alle Massnahmen, die zu einem tiefen CO₂-Level führen, bringen also auch eine Verringerung der relativen Luftfeuchtigkeit mit sich. In der Praxis zeigt sich, dass durch diesen Konflikt bei einer Zuluftrate von 25 m³/h P und einer entsprechenden CO₂-

Durchschnittskonzentration <1'000 ppm die geforderte relative Luftfeuchtigkeit von 30% in 10% der Belegungszeit unterschritten wird⁷.

FEINSTAUBMESSUNGEN MESSUNGEN DER GESAMTKEIMZAHL

Die Ergebnisse der Feinstaubmessungen sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst. Es wurden in jedem Schulhaus mit mechanischer Lüftung jeweils Feinstaubmessungen im Zuluftstrom von zwei Räumen ausgeführt.

Tab. 5: Ergebnisse der Feinstaubmessungen. Der angegebene Konzentrationsbereich im Zuluftstrom, setzt sich aus den Ergebnissen der jeweiligen zwei untersuchten Räume zusammen

Schulhaus	Zuluft (ZUL)		Aussenluft (AUL)	
	Partikel >0.75 µm [Partikel pro Liter]	Partikel >2.0 µm [Partikel pro Liter]	Partikel >0.75 µm [Partikel pro Liter]	Partikel >2.0 µm [Partikel pro Liter]
Schulhaus E, Merenschwand	260-300	0-2	780	50
Schulhaus Seengen	420-470	5	680	40
Höchi, Baden-Dättwil	320-340	5-6	800	140

Die Ergebnisse zeigen, dass Partikel grösser 2.0 µm zu etwa 90-100% in allen Anlagen zurückgehalten werden. Der Rückhalteeffekt von Partikeln grösser 0.75 µm liegt je nach Anlage zwischen 31-67%. Damit entspricht die Filterleistung der Gesamtanlage in Merenschwand der Filterklasse F7, der Anlage in Baden-Dättwil der Filterklasse F6/F7 und der Anlage in Seengen der Filterklasse F6.

Ein Einfluss auf die Partikelkonzentration kann die Art des Zuluftdurchlasses im Schulhaus Seengen haben. Die Zuluft wird hier über eine aufgehängte Stoffröhre in den Raum verteilt. Diese Stoffröhre mit einer grossen Oberfläche kann möglicherweise verstauben.

Im Schulhaus Baden-Dättwil wird die Zuluft über Bodendurchlässe in den Raum geleitet. Hier besteht die Gefahr, dass Schmutz und Staub sich in den Bodendurchlässen sammelt, welches bei Herausnahme des Einsatzes auch beobachtet werden konnte (Abb. 13). Ein weiterer kritischer Punkt bei der Beurteilung der Lüftungsanlage ist die Aussenluftfassung, die ebenerdig ist (Abb. 14). Nach SWKI Richtlinie 2003-5 (Anforderungen an raumluftechnische Anlagen) sollte die Aussenluftöffnung mindestens 3m über Erdniveau liegen.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit Untersuchungsergebnissen von Hygieneinspektionen raumluftechnischer Anlagen⁸ (RLT-Anlagen) zeigt, dass für Partikel >2 µm die Resultate in einem Bereich einwandfrei funktionierender Anlagen liegen. Für Partikel > 0.75 µm wird dieser Bereich, der für diese Partikelklasse bei 60-150 Partikel pro Liter liegt, nicht erreicht. Dies liegt sicherlich daran, dass für RLT-Anlagen von Büroräumen standardmässig F7-Filter eingesetzt werden, welches für Minergielüftungen bisher nicht verbreitet war.

⁷ Gugglerli, H., Huber H., Weber A., Schulhäuser Wieviel Luft braucht das Hirn?. Fachinformationen Hochbaudepartment der Stadt Zürich Fachstelle Nachhaltiges Bauen.

(http://www3.stzh.ch/internet/hbd/home/beraten/fachstellen/nachhaltiges_bauen/Fachinformation.html)

⁸ Heiness et al., Hygieneinspektionen in der Praxis, in Spektrum GebäudeTechnik 6/2004, Robe Verlag AG, Küttigen.

MESSUNGEN DER GESAMTKEIMZAHL

Parallel zu den Feinstaubmessungen wurden Untersuchungen zur Gesamtkeimzahl im Zuluftstrom und an der Aussenluftfassung vorgenommen, deren Ergebnisse in Tab. 6 zusammengefasst sind. Während auffällige Schimmelpilzsporenkonzentrationen auf Grund ihrer Grösse im Bereich von 2 µm mit den Feinstaubmessungen erfasst worden wären, müssen Bakterien (Grösse <<1 µm) kultiviert werden, um ein auszählbares Resultat zu erhalten. In den Proben wurden nur sehr vereinzelt Schimmelpilzsporen gefunden.

Tab. 6: Ergebnisse der Keimmessung. Der angegebene Konzentrationsbereich im Zuluftstrom, setzt sich aus den Ergebnissen der jeweiligen zwei untersuchten Räume zusammen

Schulhaus	Zuluft (ZUL)	Aussenluft (AUL)
	Keimzahl (ohne Schimmelpilze) KBE/m ³	Keimzahl (ohne Schimmelpilze) KBE/m ³
Schulhaus E, Merenschwand	60-120	30
Schulhaus Seengen	60-80	140
Höchi, Baden-Dättwil	0-20	300

Ein Vergleich der Zuluftqualität mit der Aussenluftqualität zeigt mit der Ausnahme des Schulhauses Merenschwand, dass die Luftkeimkonzentration in der Zuluft deutlich geringer als in der Aussenluft ist. Aber auch die Luftkeimkonzentration in der Zuluft des Schulhauses Merenschwand liegt noch in einem tiefen Bereich. Bakterienkonzentrationen von gut funktionierenden RLT-Anlagen liegen in einem Bereich zwischen <10 bis 190 KBE/m³⁹. Es muss bei einem Vergleich der Aussenluftqualität mit der Zuluft auch beachtet werden, dass die Messung zeitversetzt erfolgt. Dass heisst zum Zeitpunkt der Messung im Zuluftstrom kann eine erhöhte Aussenluftkonzentration vorgelegen haben, als die später sehr niedrige gemessene Konzentration. Insgesamt zeigen die Messungen in der Zuluft, dass die RLT-Anlagen in einem hygienisch einwandfreien Zustand sind.

⁹ Heinss et al., Hygieneinspektionen in der Praxis, in Spektrum GebäudeTechnik 6/2004, Robe Verlag AG, Küttigen.

5. Fotodokumentation



Abb. 3: CO₂-Messung im Schulhaus E Merenschwand



Abb. 4: CO₂-Messung im Schulhaus Sarrenstorf



Abb. 5: CO₂-Messung im Schulhaus Seengen



Abb. 6: CO₂-Messung im Schulhaus Veltheim



Abb. 7: CO₂-Messung im Raum 18, Schulhaus Brugg Laufohr



Abb. 8: CO₂-Messung im Raum U6, Schulhaus Brugg Laufohr



Abb. 9: CO₂-Messung im Raum 23 (Fensterlüftung), Schulhaus Baden Dättwil



Abb. 10: CO₂-Messung im Raum 27 (mech. Lüftung), Schulhaus Baden Dättwil



Abb. 11: CO₂-Messung im Raum 16 (mech. Lüftung), Schulhaus Baden Dättwil



Abb. 12: Feinstaubmessung im Zuluftstrom, Schulhaus Baden Dättwil



Abb. 13: Luftkeimmessung im Zuluftstrom, Schulhaus Baden Dättwil



Abb. 14: Feinstaubmessungen und Luftkeimmessungen an der ebenerdigen Aussenluftfassung, Schulhaus Baden Dättwil

6. Diskussion der Ergebnisse

Die Messungen zeigen, dass die installierten raumlufttechnischen Anlagen in einem hygienisch guten Zustand sind, und die den Räumen zugeführte Luft generell eine bessere Qualität bezüglich Feinstaub und Keimen als die Aussenluft aufweist. Bei Schulhäusern mit Fensterlüftung entsprechen diese Parameter der Aussenluft. Gerade an sehr verkehrsreichen Standorten leistet also die mechanische Lüftung einen Beitrag zur Verbesserung der Raumlufthqualität.

Entsprechend den Ergebnissen der CO₂-Messungen kann die Raumlufth der untersuchten Schulhäuser in verschiedene Kategorien eingeteilt werden (Tabelle 3). Dabei herrscht in 3 untersuchten Schulräumen (Fensterlüftung) mit hoher Belegung eine ungenügende Raumlufthqualität. Auch in 2 weiteren Räumen mit Fensterlüftung wurde bei einer hohen Belegung (>18 Kinder) eine ungenügende Raumlufthqualität festgestellt. Es zeigt sich, dass bei relativ niedriger Belegung (≤15 Kinder) in Räumen mit Fensterlüftung eine befriedigende Raumlufthqualität bei regelmässiger Lüftung erreicht werden kann. In Klassen mit höherer Belegung war dies hingegen trotz regelmässig protokollierter Lüftung (5-15 Minuten), nicht möglich. Folgende Massnahmen können zu einem verbesserten Luftaustausch beitragen und damit die ungenügende Raumlufthqualität in Räumen mit Fensterlüftung und hoher Schülerbelegung verbessern:

- Vergrösserung der öffenbaren Fensterfläche (am besten Drehfenster)
- Ein Querlüften (Fenster im Schulraum und auf der gegenüber liegenden Fassadenseite sowie Rauntür geöffnet) ist der Lüftung nur auf einer Seite vorzuziehen.
- Bei vertretbaren Aussenklima sollte auch während des Unterrichts über die Fenster gelüftet werden. (Zugerscheinungen beachten).

Die Schulräume mit einer mechanischen Lüftung weisen erwartungsgemäss insgesamt eine bessere Raumlufthqualität als die Schulräume mit Fensterlüftung auf. Dabei unterscheiden sich die Schulhäuser durch den realisierten Zuluftstrom (m³ pro Stunde und Person). Dementsprechend können die untersuchten Schulhäuser wie folgt geordnet werden:

1. Schulhaus Baden Dättwil (sehr tiefer CO₂-Pegel, hoher Zuluftstrom)
2. SH Merenschwand (CO₂-Pegel entspricht mehrheitlich Vorgaben¹⁰, mittlerer Zuluftstrom)
3. SH Seengen (insbesondere bei hoher Belegung, vereinzelt leicht erhöhter CO₂-Pegel, wahrscheinlich tieferer Zuluftstrom als SH Merenschwand)

In den Schulhäusern Seengen und Merenschwand empfehlen wir, bei hoher Belegung zusätzlich in den Pausen eine 5-minütige Fensterlüftung. In einem Raum, wo dies praktiziert wurde (SH Seengen Raum Kindler), konnten die Vorgaben für CO₂ dauerhaft auch bei höherer Belegung eingehalten werden. Im Schulhaus Baden Dättwil könnte theoretisch der Zuluftstrom reduzierter werden und die Vorgaben für den CO₂-Pegel trotzdem eingehalten werden.

¹⁰ Mittlere CO₂-Konzentration <1'000 ppm, Maximale Spitzenkonzentrationen <1'500 ppm

Dies sollte auf alle Fälle während Perioden mit tiefer Aussentemperatur geschehen, da dadurch die relative Luftfeuchtigkeit im Raum angehoben werden kann. Insgesamt empfehlen wir den punktuellen Einsatz von sogenannten Lüftungsampeln, mit deren Einsatz das Lüftungsverhalten der Lehrer den Erfordernissen einer guten Raumlufthqualität angepasst werden kann.

7. Anhang I: Ergebnisse der Klimamessungen

SH Langmatt Brugg

UG 5

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
10.3.05	9.00-11.35	1116	1871	15 Kinder
	13.25-16.10	857	1494	5 Kinder
11.3.05	7.20-10.50	1214	1706	15 Kinder
	13.20-16.10	810	1165	15 Kinder
12.3.05				Wochenende
13.3.05				Wochenende
14.3.05	8.30-11.30	978	1271	15 Kinder
	13.30-14.30	733	953	12 Kinder
15.3.05	8.45-11.30	916	1082	12 Kinder
	13.40-17.30	597	659	12 Kinder
16.3.05	7.25-11.20	1042	1282	15 Kinder

Raum18

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
9.3.05	7.20-11.30	1387	2847	19 Kinder
10.3.05	8.30-11.30	1222	2106	19 Kinder
	13.20-16.10	819	1435	19 Kinder
11.3.05	7.20-12.00	1174	2035	19 Kinder
	13.20-16.10	614	988	7 Kinder
12.3.05				Wochenende
13.3.05				Wochenende
14.3.05	8.45-11.30	1157	1588	15 Kinder
	13.45-15.30	912	1118	12 Kinder
15.3.05	8.45-11.30	555	565	12 Kinder
	13.45-15.30	553	553	12 Kinder
16.3.05	7.20-9.15	558	565	11 Kinder
	9.30-11.30	903	1518	15 Kinder

SH Veltheim

Haus 7, Klassenzimmer 9

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
9.3.05	07.30-10.55	2433	>3000	28 Kinder
	11.00-11.45	2419	2518	6 Kinder
10.3.05	08.20-11.45	2159	>3000	26 Kinder
	13.45-16.15	2055	>3000	26 Kinder
11.3.05	9.20-10.55	1973	2306	27 Kinder
	13.35-15.15	2156	2765	27 Kinder
12.3.05				Wochenende
13.3.05				Wochenende
14.3.05	7.30-10.55	1750	25576	13-28 Kinder
	13.35-15.15	2035	>3000	28 Kinder
15.3.05	7.30-11.45	2076	>3000	13-28 Kinder
16.3.05	7.30-10.55	2363	>3000	27 Kinder

SH Sarmenstorf (SH Winkel)

Raum 12

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
25.2.05	8.00-11.45	1568	>3000	27 Kinder
	14.00-16.00	2422	>3000, 1,5h	27 Kinder
26.2.05				Wochenende
27.2.05				Wochenende
28.2.05	7.25-11.40	1915	>3000	26 Kinder
	13.10-14.55	1704	>3000	26 Kinder
1.3.05	7.25-11.40	1533	>3000	27 Kinder
	13.10-16.00	1590	2988	27 Kinder
2.3.05	7.25-11.40	1315	2235	27 Kinder
3.3.05	7.25-11.40	1949	>3000	27 Kinder
4.3.05	7.25-11.40	1226	>3000	27 Kinder
	14.05-16.00	909	1212	26 Kinder
5.3.05				Wochenende
6.3.05				Wochenende
7.3.05	7.25-11.40	1619	>3000	27 Kinder

Raum 23

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
25.2.05	8.05-11.45	2265	>3000	20 Kinder
	16.00-19.00	2096	2435	4 Personen
26.2.05				Wochenende
27.2.05				Wochenende
28.2.05	8.05-10.55	24551	>3000, 90 min.	20 Kinder
	13.05-16.00	2173	>3000, 16 min.	20 Kinder
1.3.05	8.05-10.50	2179	>3000, 22 min.	20 Kinder
	15.10-17.00	1884	2224	1 Person
2.3.05	8.05-11.40	1590	2624	11-20 Kinder
3.3.05	9.00-10.50	1805	2494	20 Kinder
4.3.05	8.05-11.40	2164	>3000, 18 min.	20 Kinder
5.3.05				Wochenende
6.3.05				Wochenende
7.3.05	8.05-10.50	1997	>3000, 18 min.	18 Kinder

SH Höchi, Baden

Raum 16

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
9.3.05	8.00-12.00	653	859	20 Kinder
	13.45-15.15	320	329	-
10.3.05				Waldtag
11.3.05	8.00-12.00	610	1129	12-19 Kinder
	14.30-15.15	580	694	23 Kinder
12.3.05				Wochenende
13.3.05				Wochenende
14.3.05	8.00-12.00	480	600	11-21 Kinder
	13.00-14.15	298	353	11 Kinder
15.3.05	8.00-12.00	569	824	11 Kinder
	13.30-15.15	515	694	11 Kinder
16.3.05	8.00-11.00	650	894	21 Kinder

Raum 23

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
9.3.05	8.00-12.00	660	800	Keine Angabe
10.3.05	8.00-12.00	921	1400	12-24 Kinder
11.3.05	9.00-12.00	1359	1941	24 Kinder
	13.30-15.30	1663	2224	24 Kinder
12.3.05				Wochenende
13.3.05				Wochenende
14.3.05	8.00-11.00	789	1129	12 Kinder
15.3.05	8.00-12.00	1099	1647	12 Kinder
	13.30-14.45	1450	1871	24 Kinder
16.3.05	8.00-12.00	1281	2376	24 Kinder

Raum 27

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
9.3.05	8.00-11.00	712	918	18 Kinder
10.3.05				
11.3.05	8.00-11.00	671	847	18 Kinder
	14.30-15.30	712	871	18 Kinder
12.3.05				Wochenende
13.3.05				Wochenende
14.3.05	8.00-12.00	596	835	18 Kinder
	13.30-15.00	636	765	18 Kinder
15.3.05	8:00-11.00	563	741	18 Kinder
	13.30-15.15	672	776	18 Kinder
16.3.05	8.00-12.00	773	929	18 Kinder

SH „E“, Merenschwand

E03

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
25.2.05	8.00-12.15	860	1224	12 Kinder
	13.30-15.15	521	624	12 Kinder
26.2.05				Wochenende
27.2.05				Wochenende
28.2.05	8.00-11.00	468	576	12 Kinder
1.3.05	8.45-12.00	855	1271	12 Kinder
2.3.05	8.00-11.00	876	1200	12 Kinder
3.3.05	7.45-12.00	683	1106	12 Kinder
	13.30-15.30	884	1129	12 Kinder
4.3.05	8.00-12.00	744	976	12 Kinder
5.3.05				Wochenende
6.3.05				Wochenende
7.3.05	8.00-12.00	841	1271	12 Kinder
	14.30-16.30	841	976	12 Kinder

E23

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
25.2.05	8.15-12.00	1069	1400	21 Kinder
26.2.05				Wochenende
27.2.05				Wochenende
28.2.05	8.15-11.00	1139	1494	21 Kinder
	13.30-17.15	984	1365	21 Kinder
1.3.05				
2.3.05	8.15-12.00	1037	1494	21 Kinder
3.3.05	7.30-12.00	1071	1435	21 Kinder
	13.30-16.30	849	1224	21 Kinder
4.3.05	8.15-11.00	1111	1365	21 Kinder
	12.00-13.30	872	941	21 Kinder
5.3.05				Wochenende
6.3.05				Wochenende
7.3.05	8.15-11.00	1151	1506	21 Kinder
	13.30-15.30	1186	1576	21 Kinder

SH „5“, Seengen

Zimmer Wernli

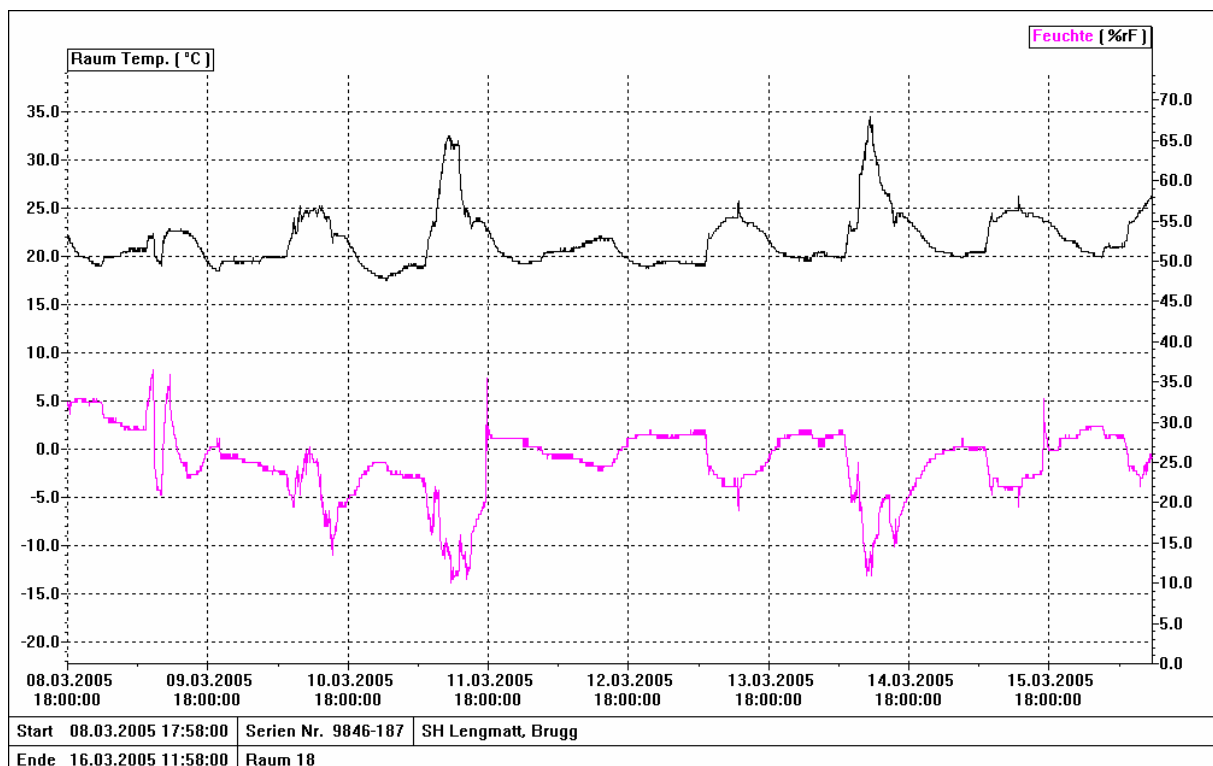
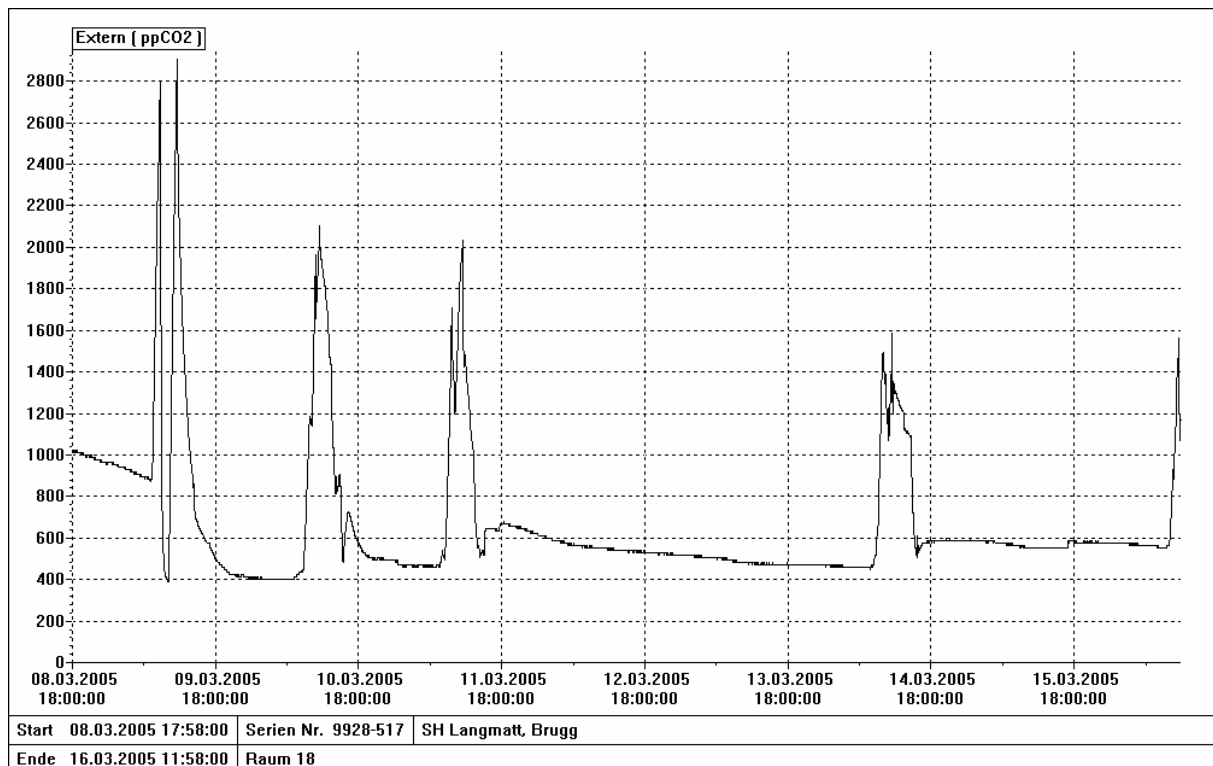
Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
25.2.05	8.20-11.45	1303	1871	11-22 Kinder
26.2.05				Wochenende
27.2.05				Wochenende
28.2.05	8.20-11.45	1223	1659	11-21 Kinder
	13.20-14.10	1086	1553	22 Kinder
1.3.05	8.20-11.45	1004	1247	12 Kinder
	13.20-15.00	1165	1412	8-22 Kinder (Türe offen)
2.3.05	7.30-11.45	1213	1859	22 Kinder
3.3.05	7.30-11.45	1150	1788	10-21 Kinder
	14.15-15.10	1073	1647	20 Kinder
4.3.05	8.20-11.45	1099	1588	9-19 Kinder
5.3.05				Wochenende
6.3.05				Wochenende
7.3.05	8.20-11.45	1149	1588	10-20 Kinder
	13.20-16.10	957	1459	20 Kinder

Zimmer Kindler

Datum	Nutzungszeit	Durchschnittl. CO ₂ -Konzentration	Maximale CO ₂ -Konzentration	Bemerkung
25.2.05	7.30-9.55	1085	1447	20 Kinder
26.2.05				Wochenende
27.2.05				Wochenende
28.2.05	7.30-11.00	838	1353	21 Kinder
	13.20-15.05	714	1047	20 Kinder
1.3.05	7.30-11.55	876	1471	10-20 Kinder
	13.20-15.05	1166	1659	20 Kinder
2.3.05	7.30-10.00	1018	1576	20 Kinder
3.3.05	9.10-10.55	889	1435	10-20 Kinder
	13.20-15.05	1073	1729	20 Kinder

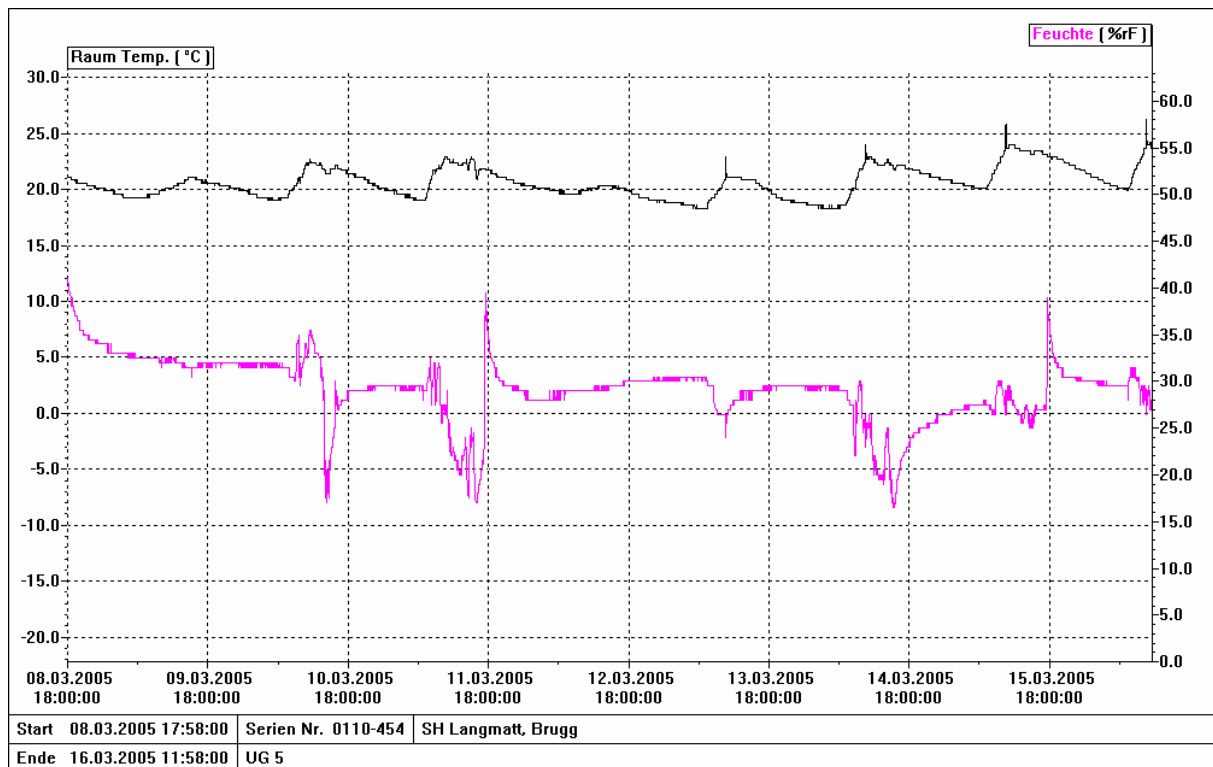
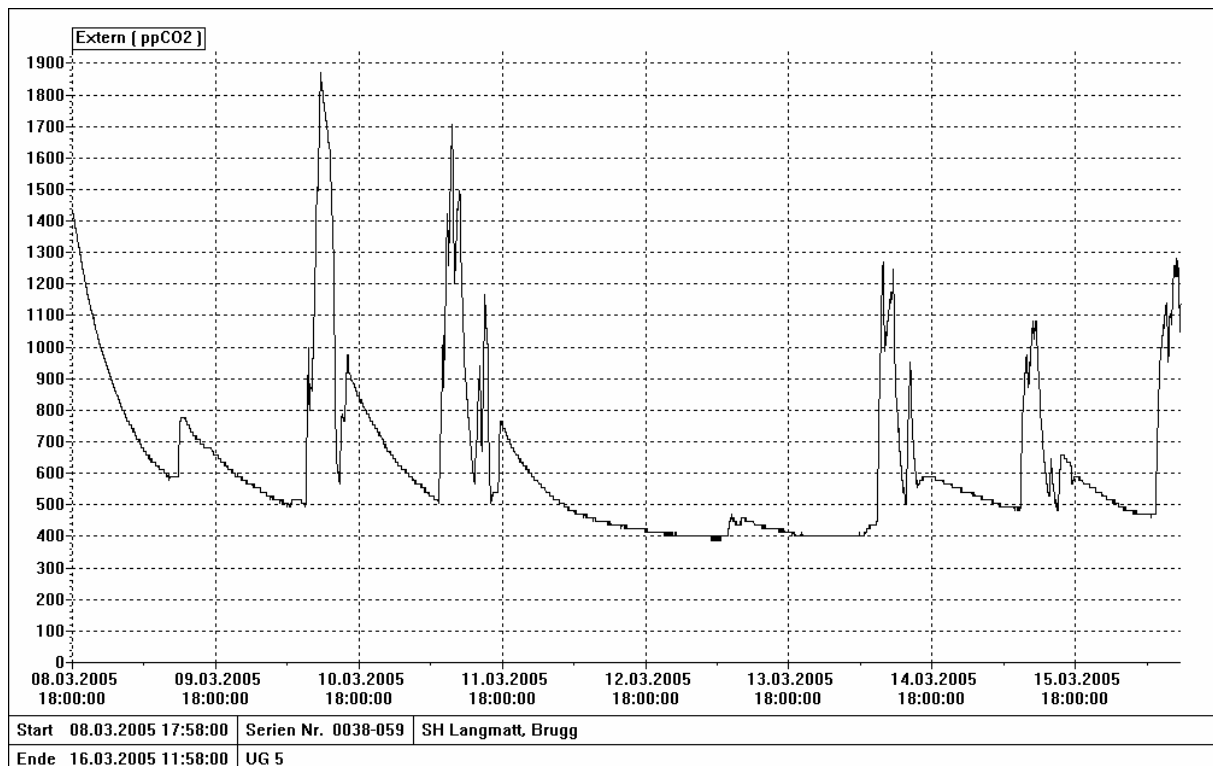
SH Langmatt, Brugg

Raum 18



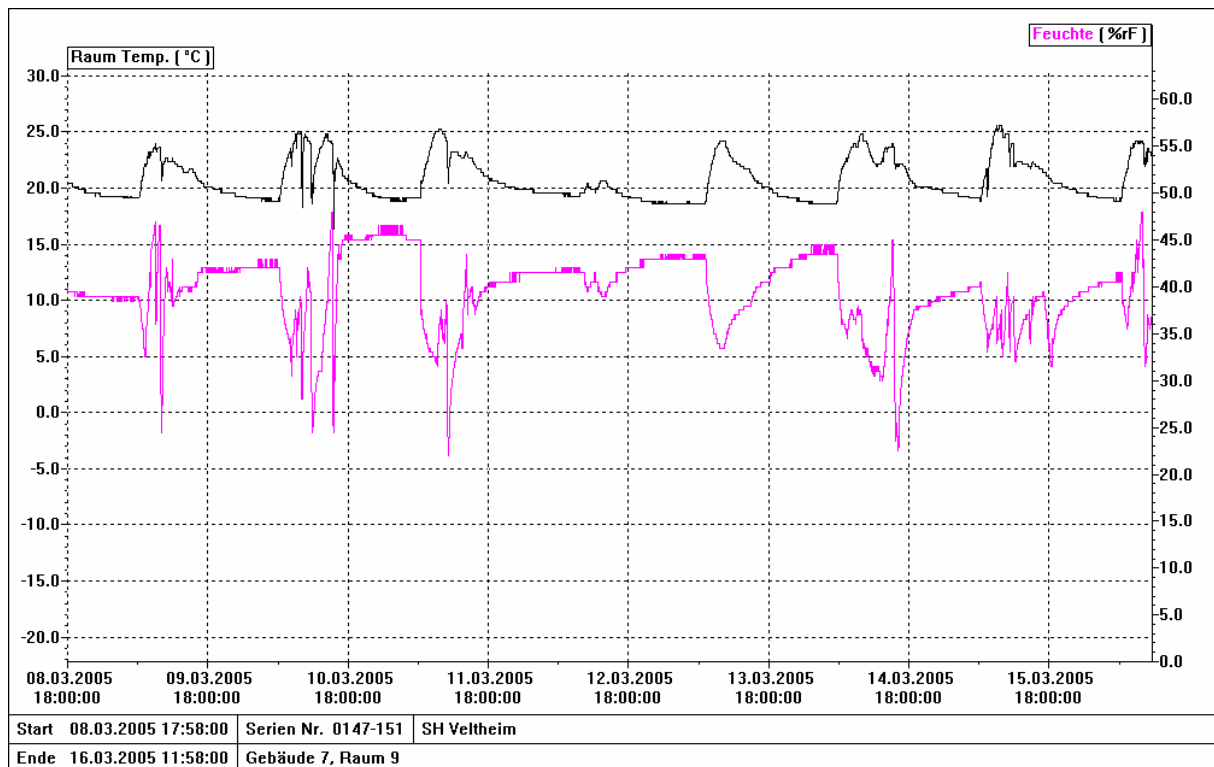
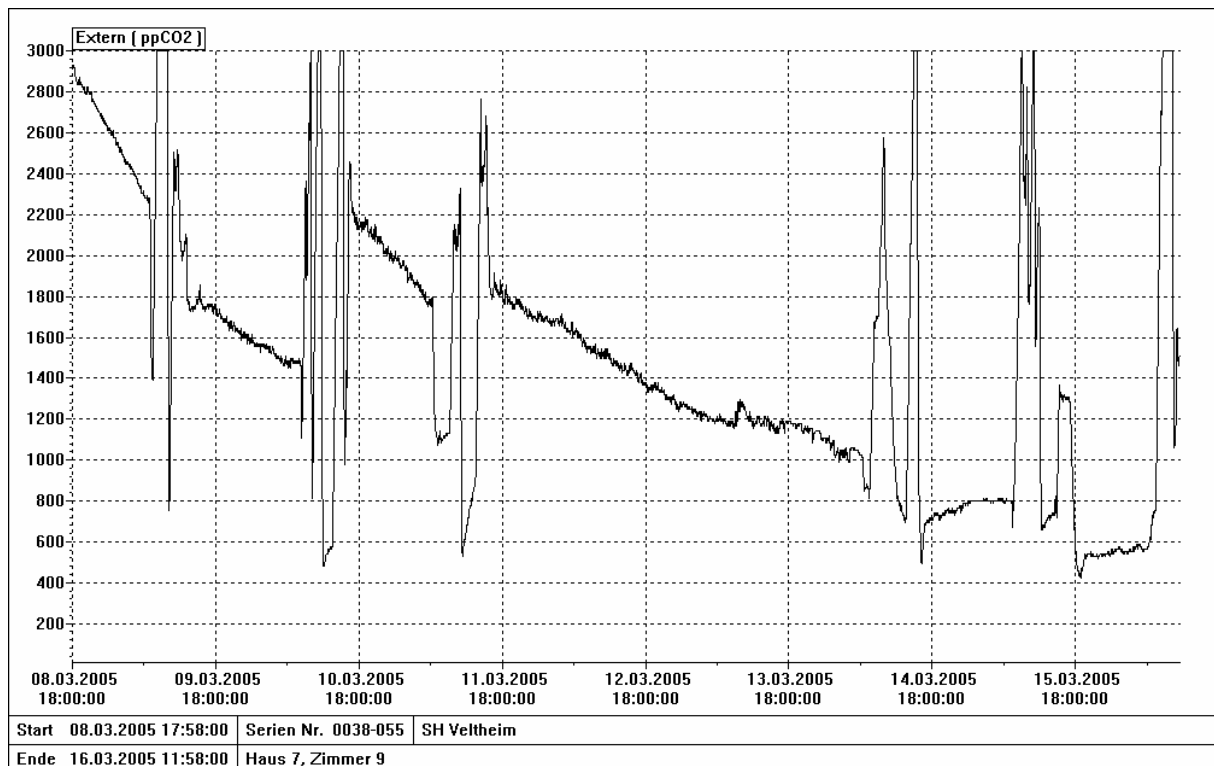
SH Langmatt, Brugg

UG 5



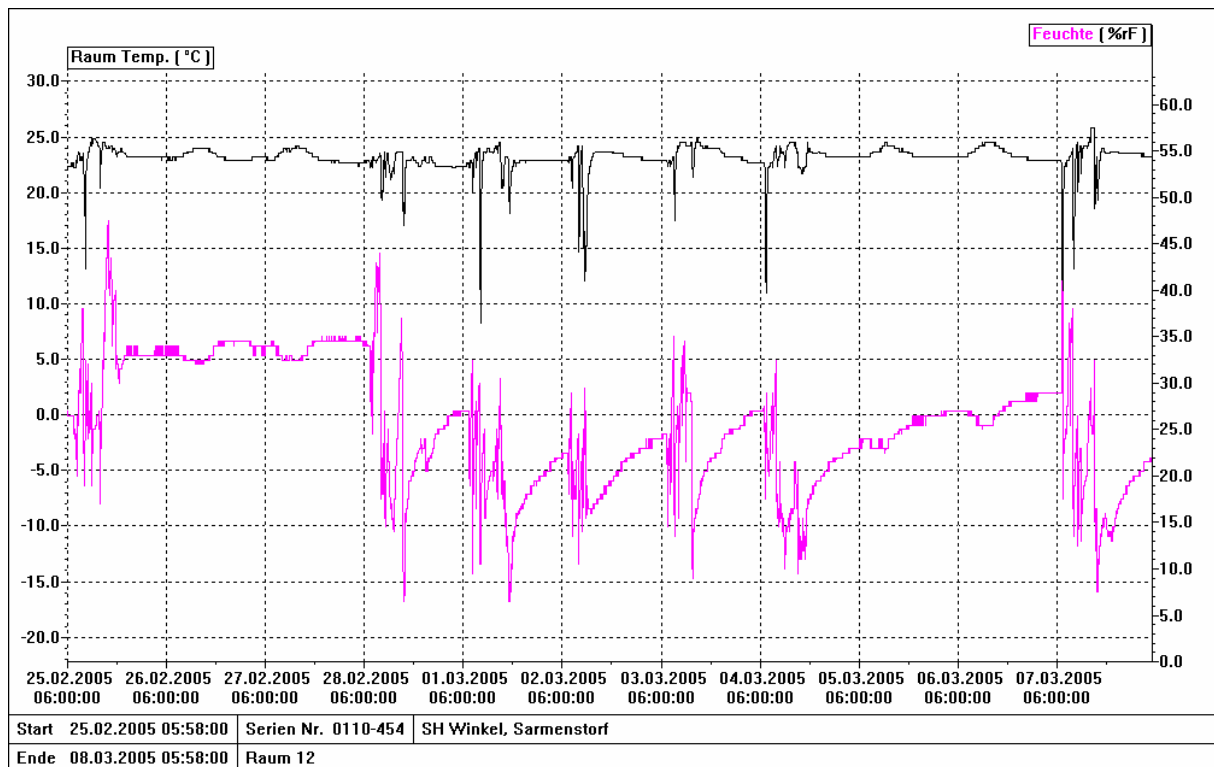
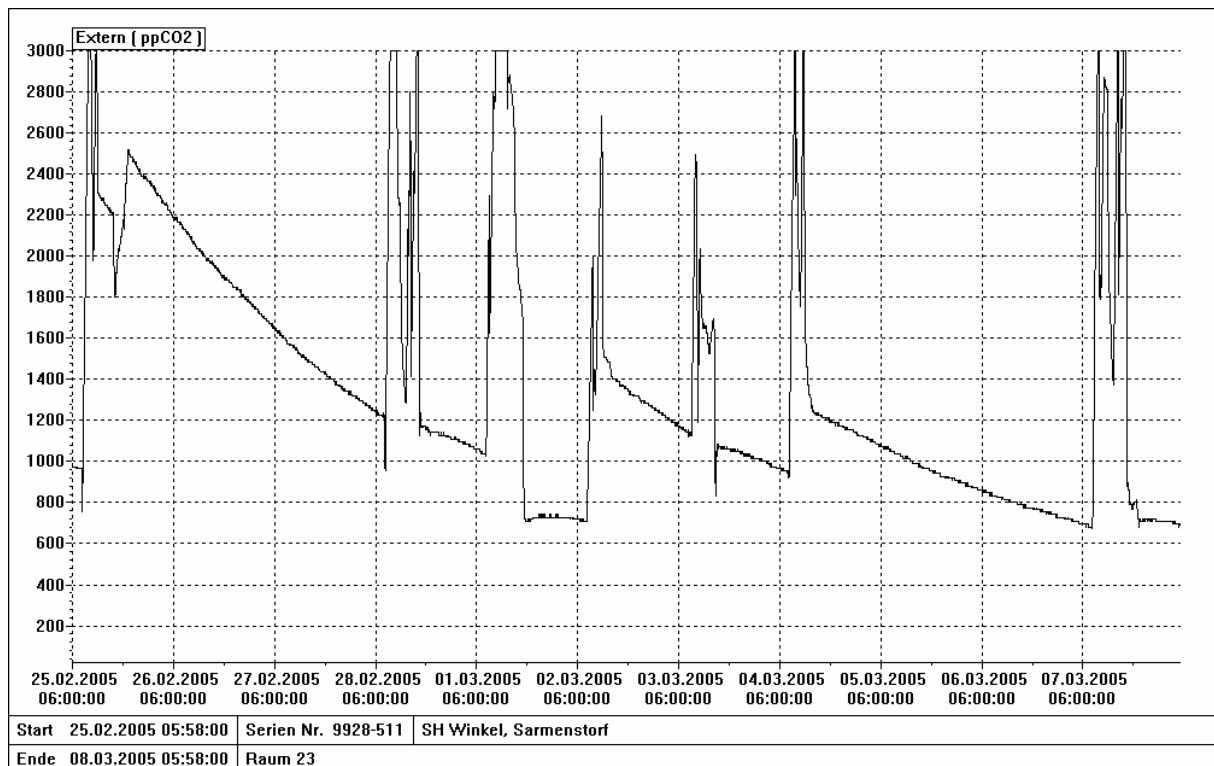
SH Veltheim

Haus 7, Zimmer 9



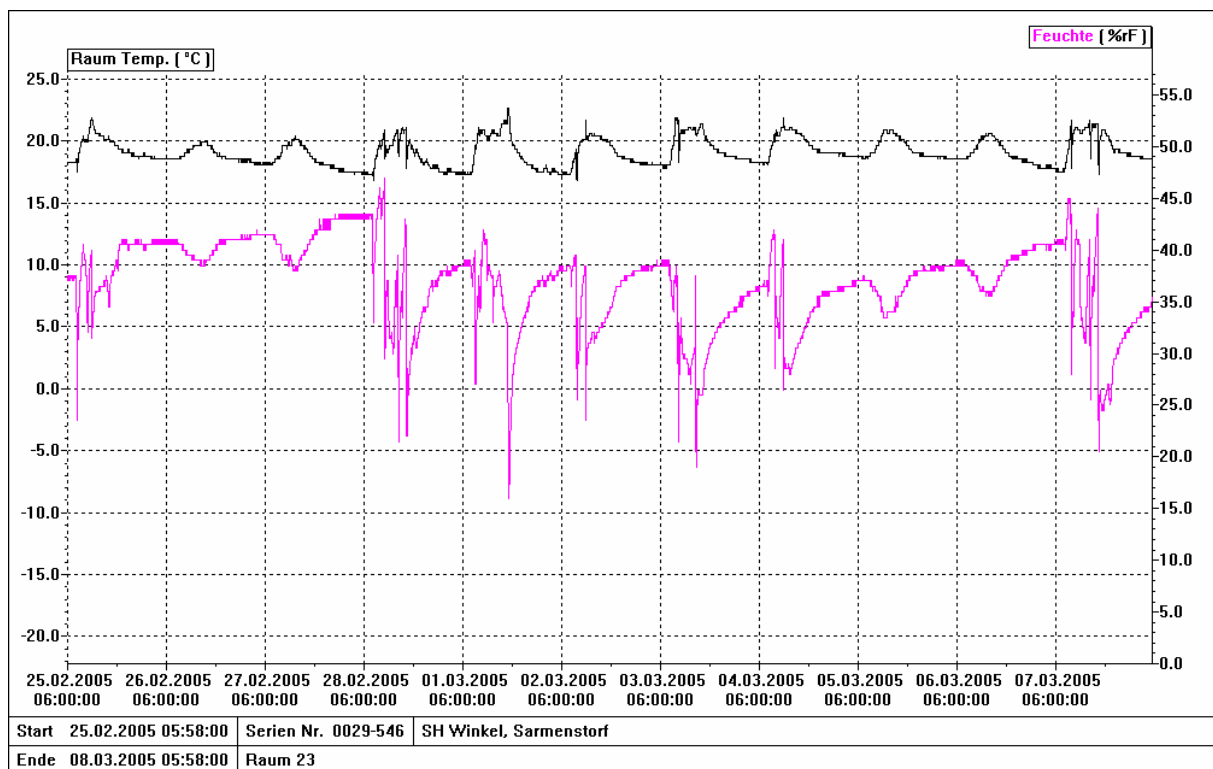
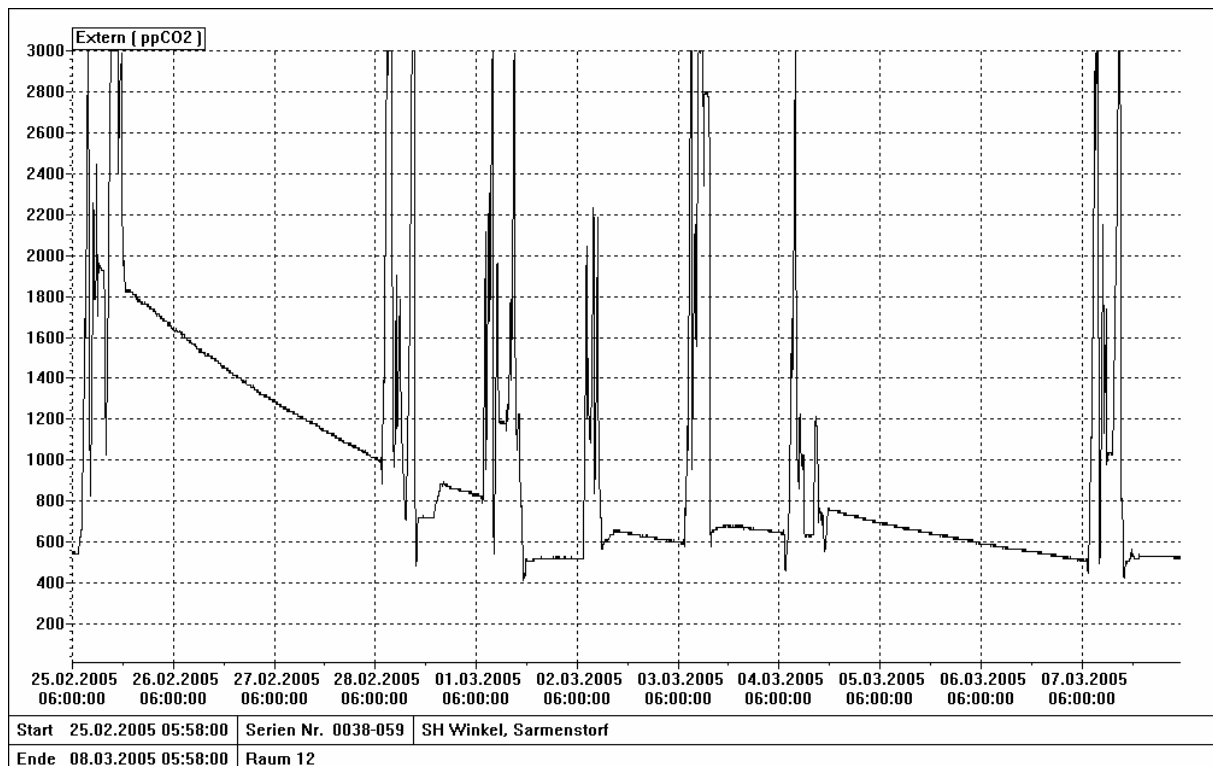
SH Winkel, Sarmenstorf

Raum 23



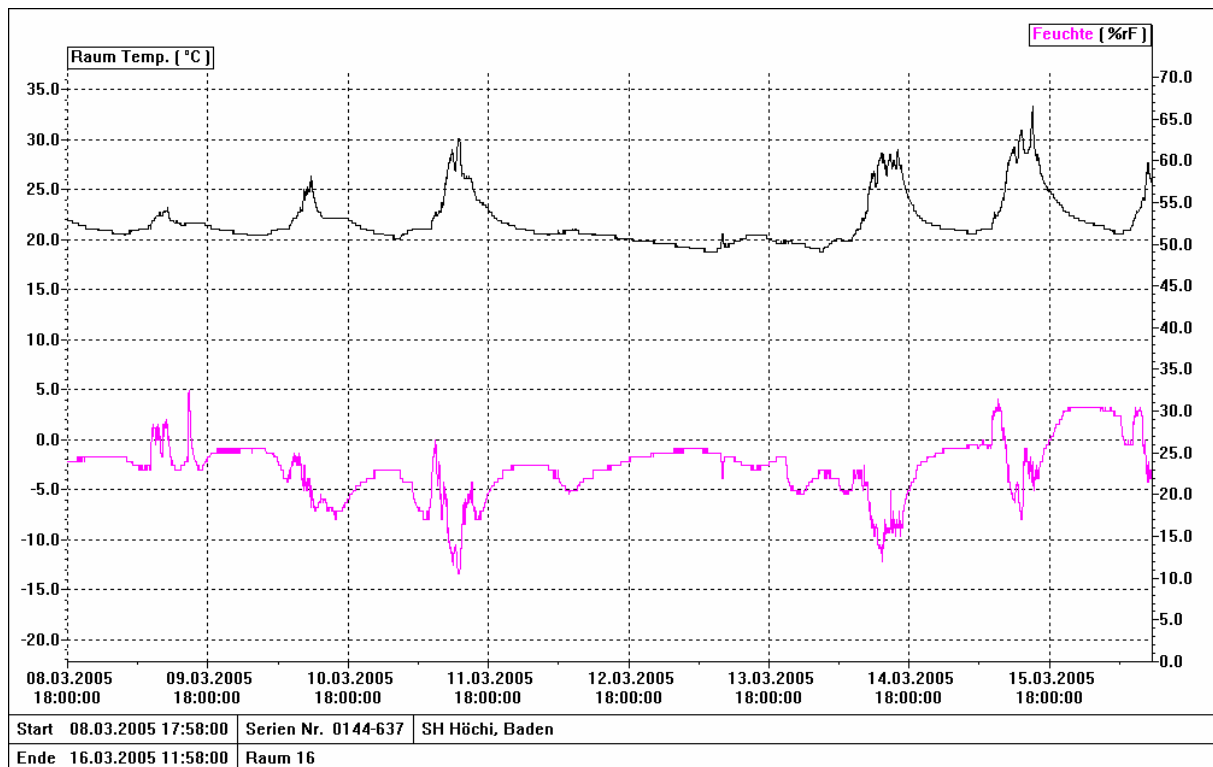
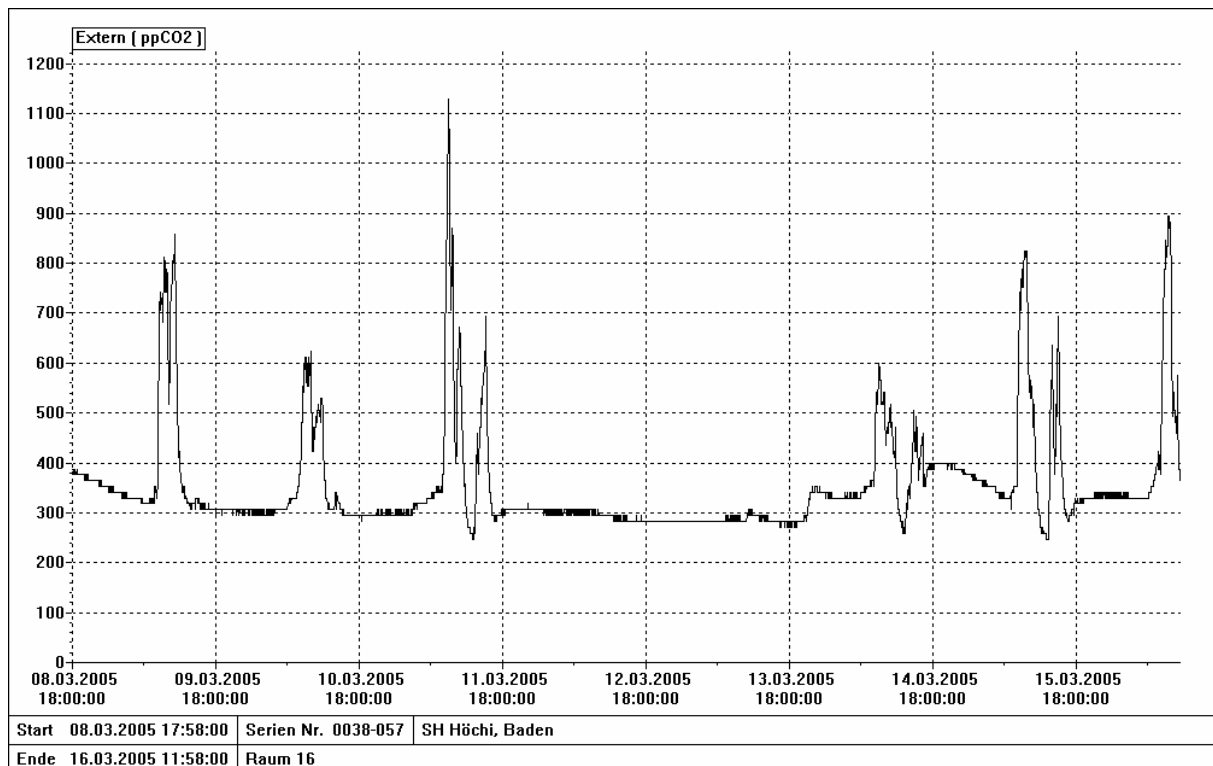
SH Winkel, Sarmenstorf

Raum 12



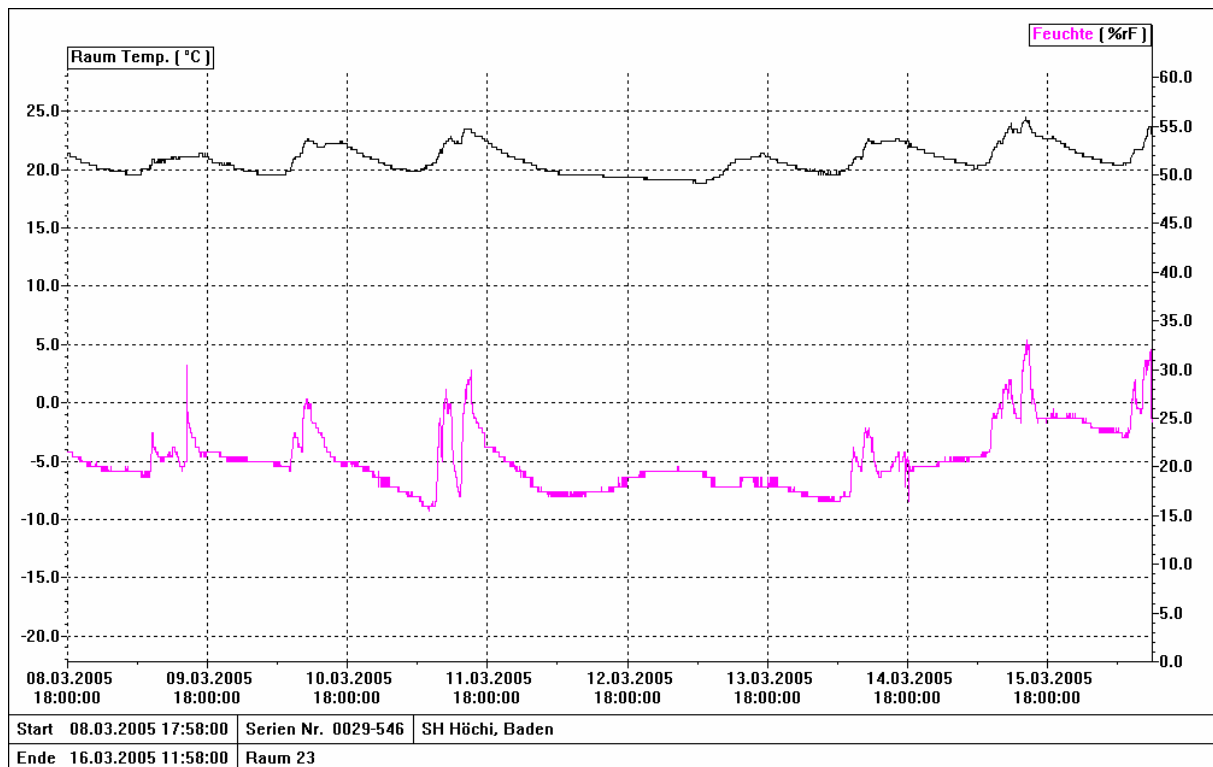
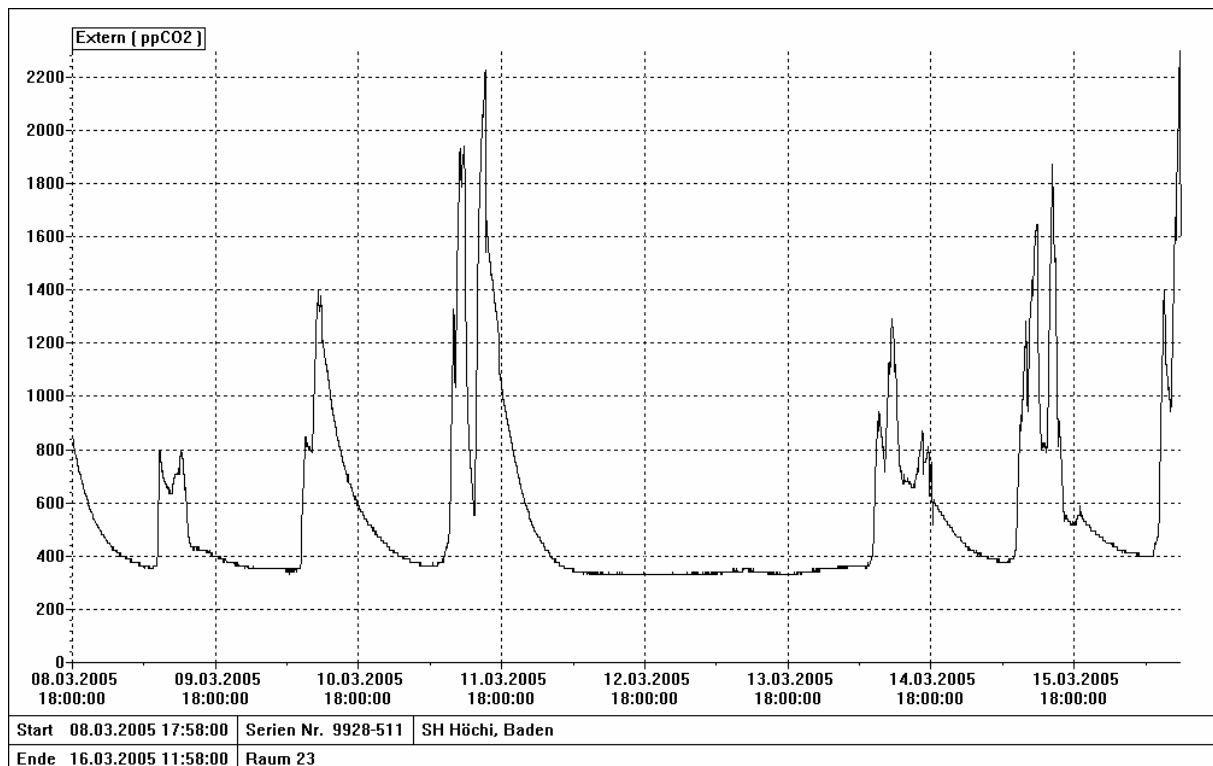
SH Höchi, Baden

Raum 16



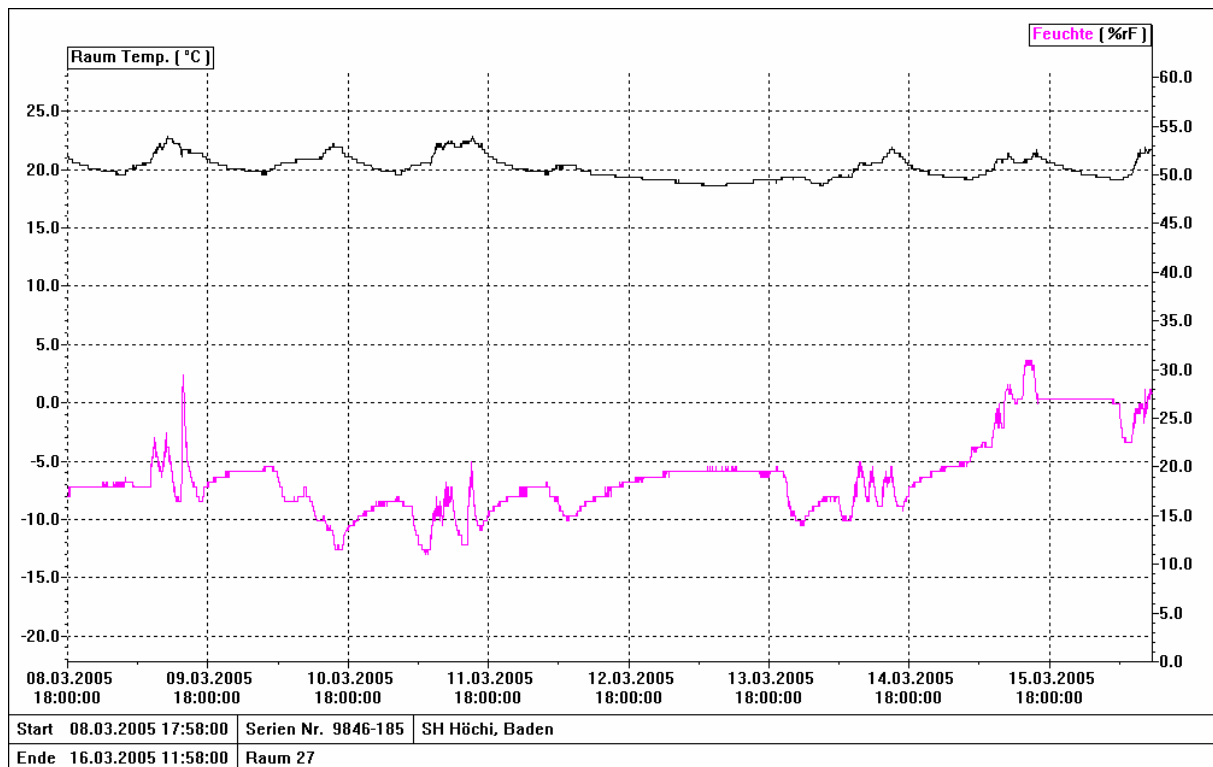
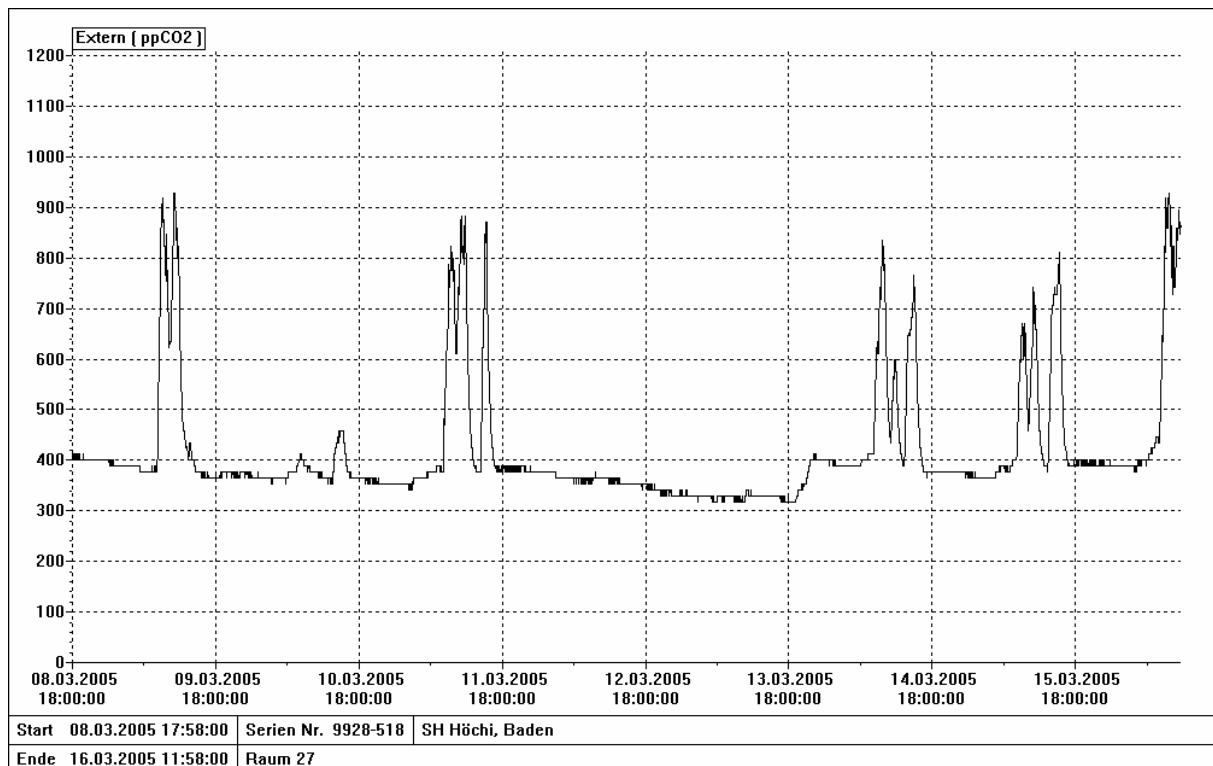
SH Höchi, Baden

Raum 23



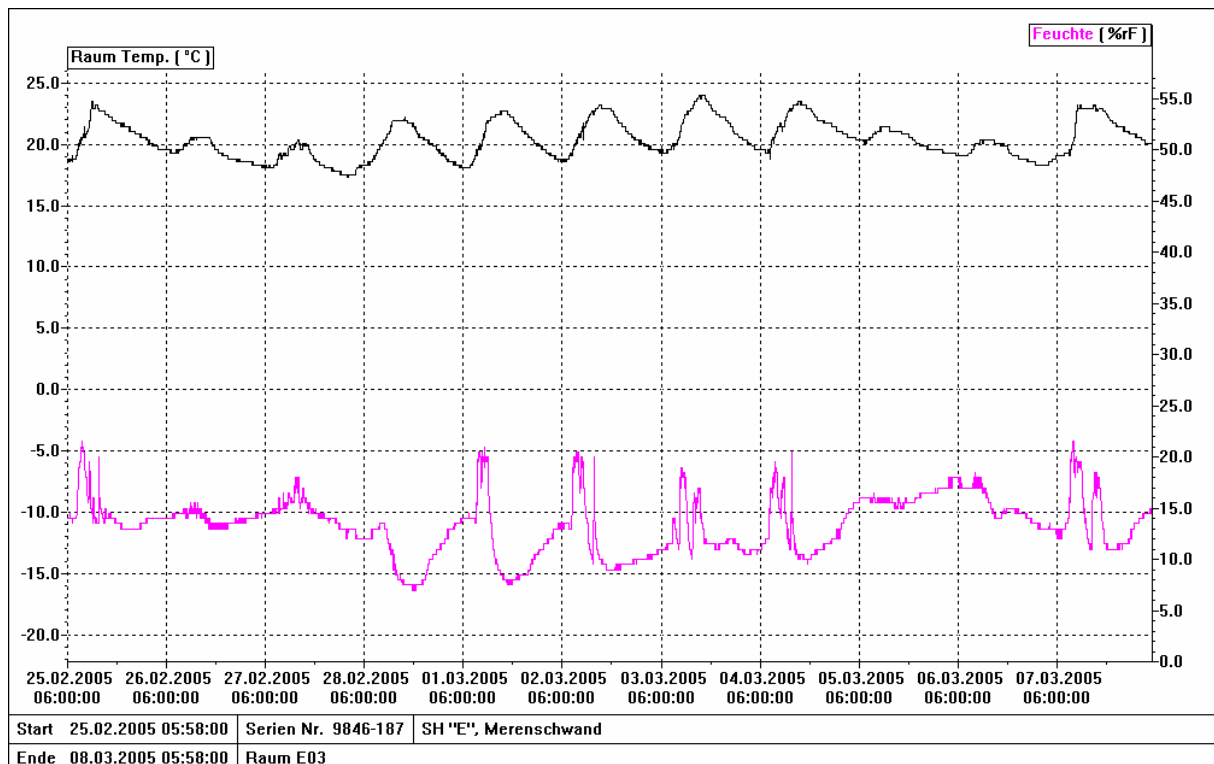
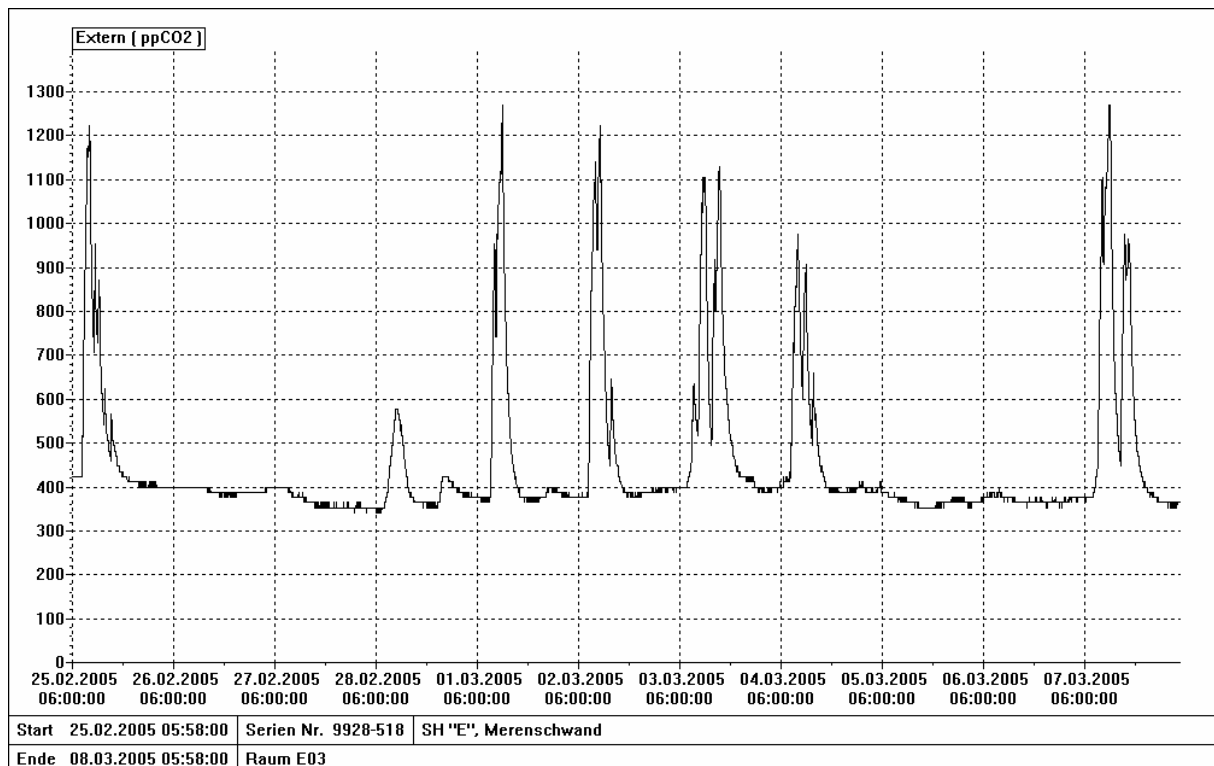
SH Höchi, Baden

Raum 27



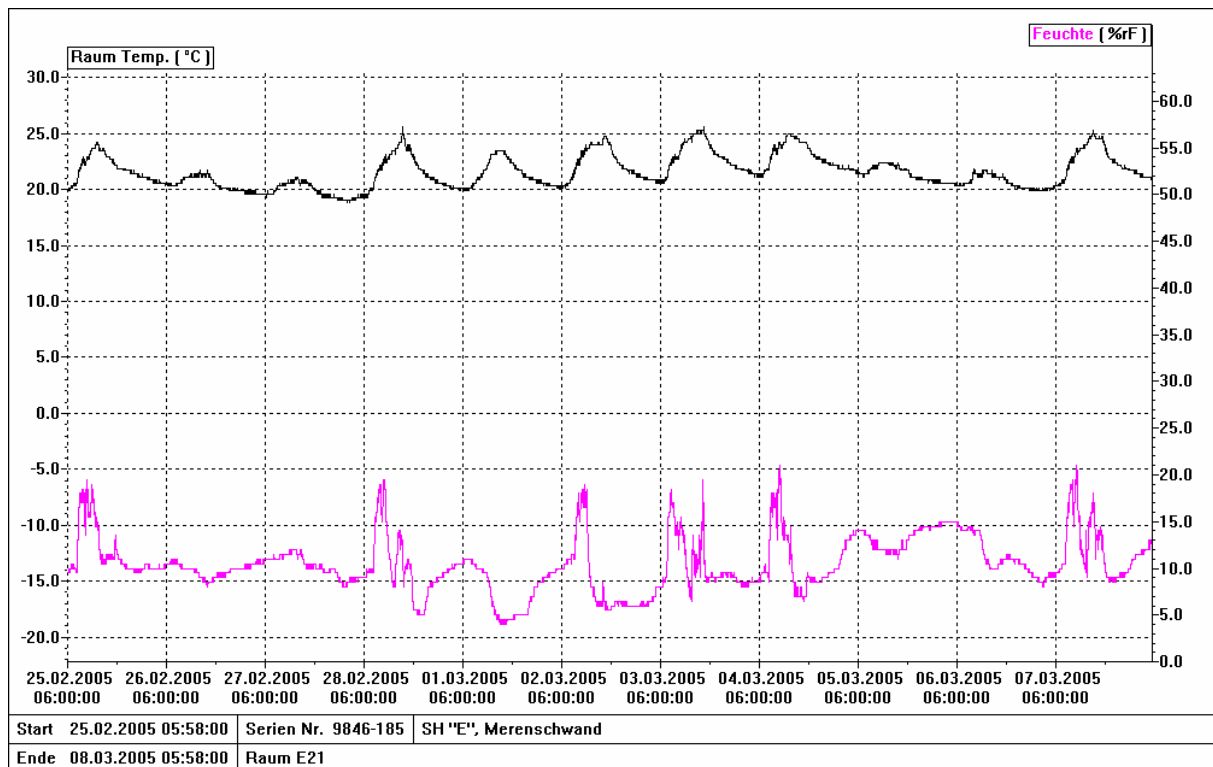
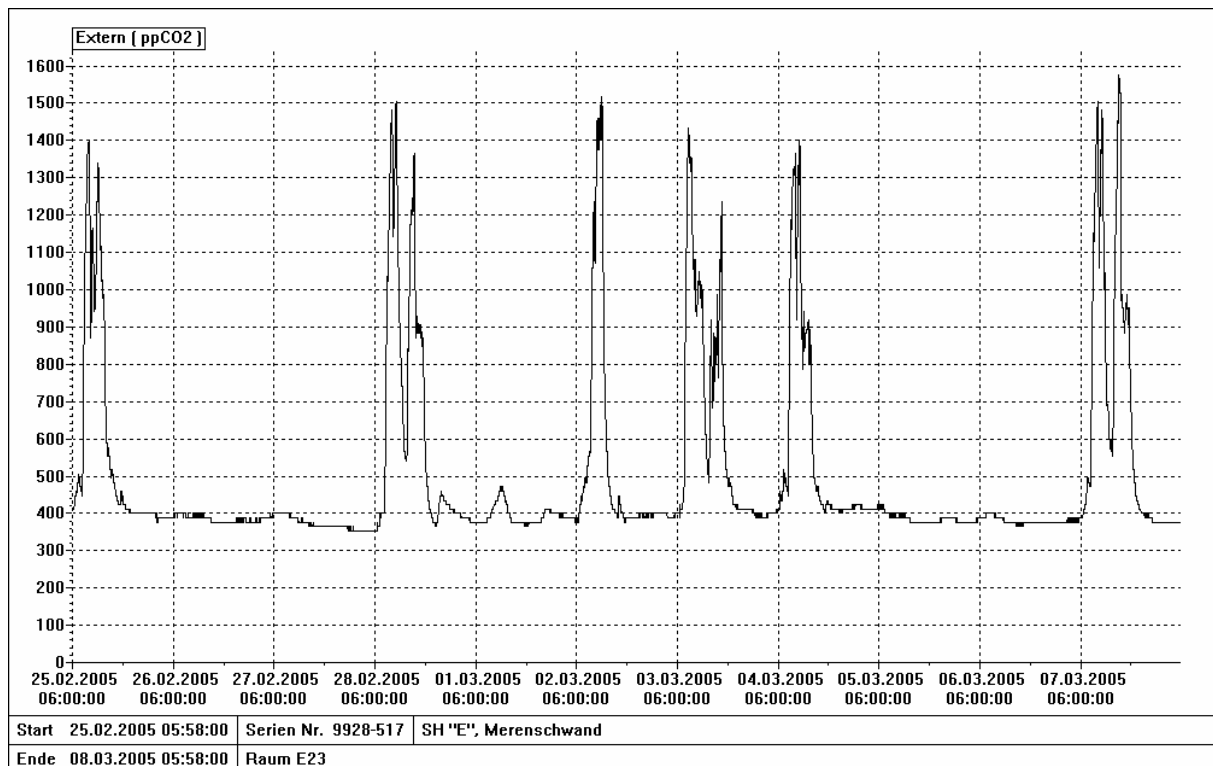
SH „E“, Merenschwand

Raum E03



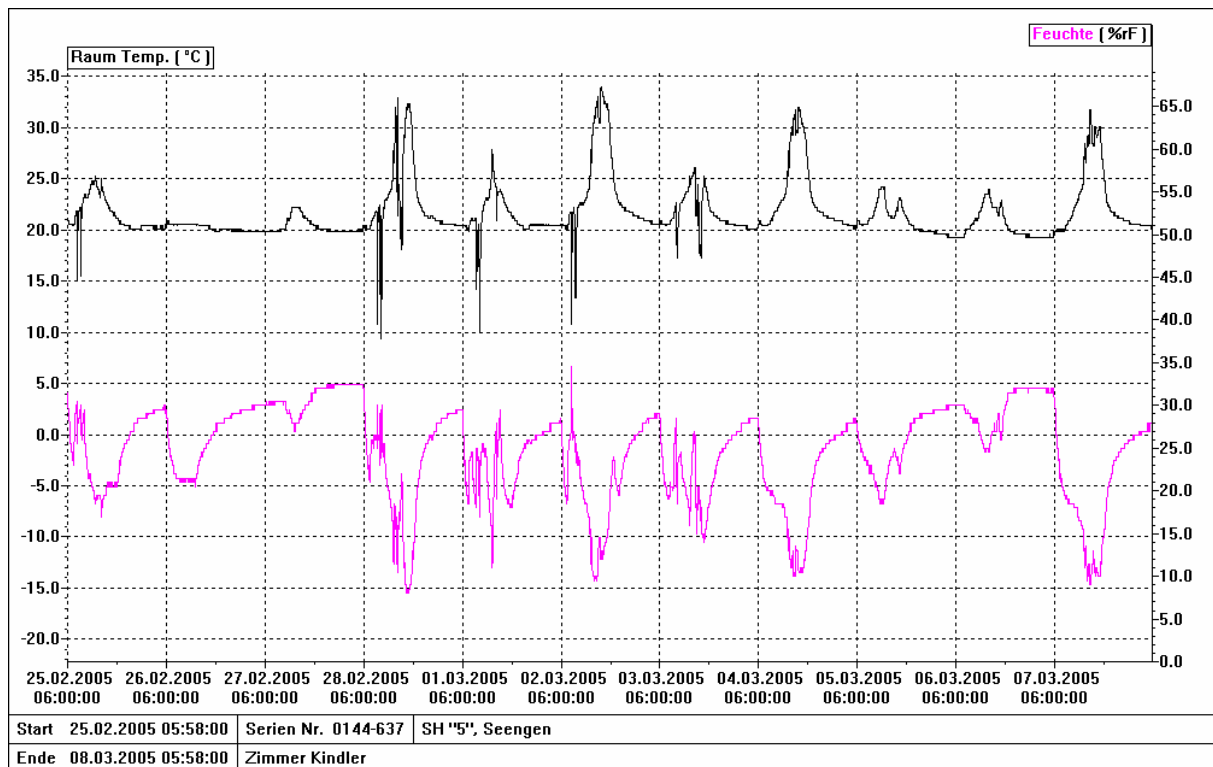
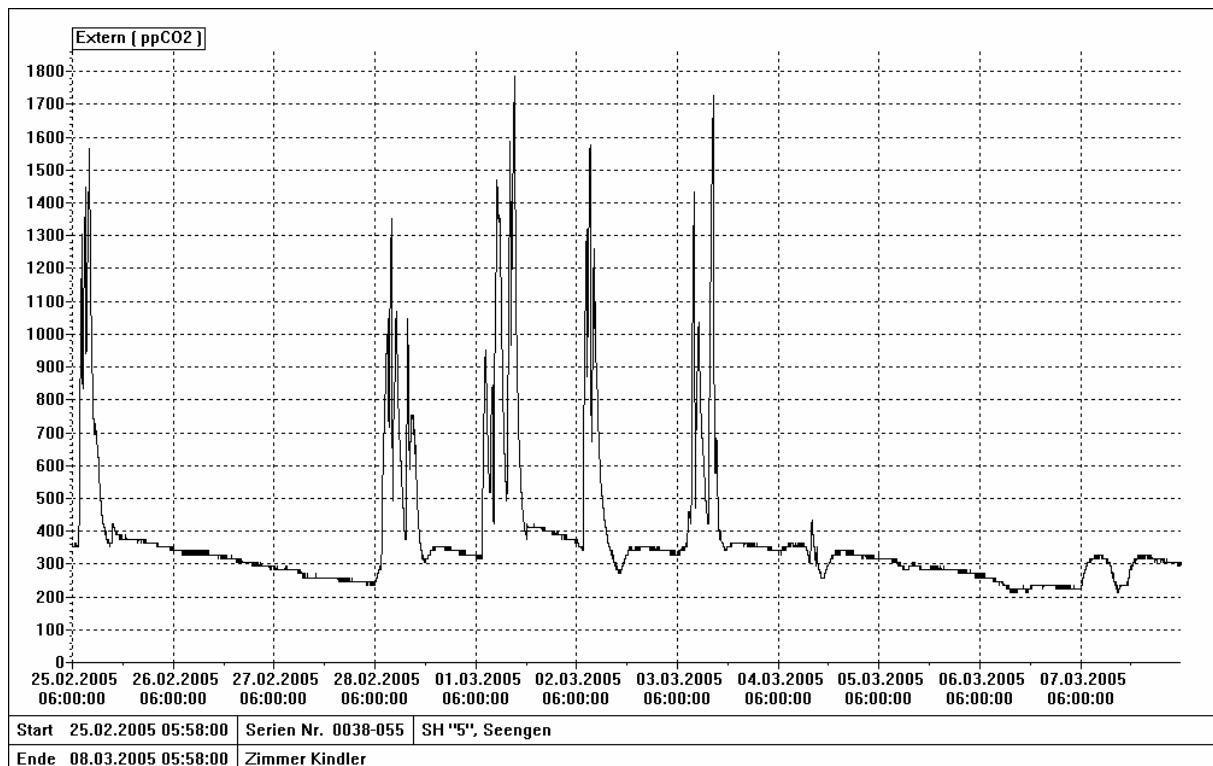
SH „E“, Merenschwand

Raum E23



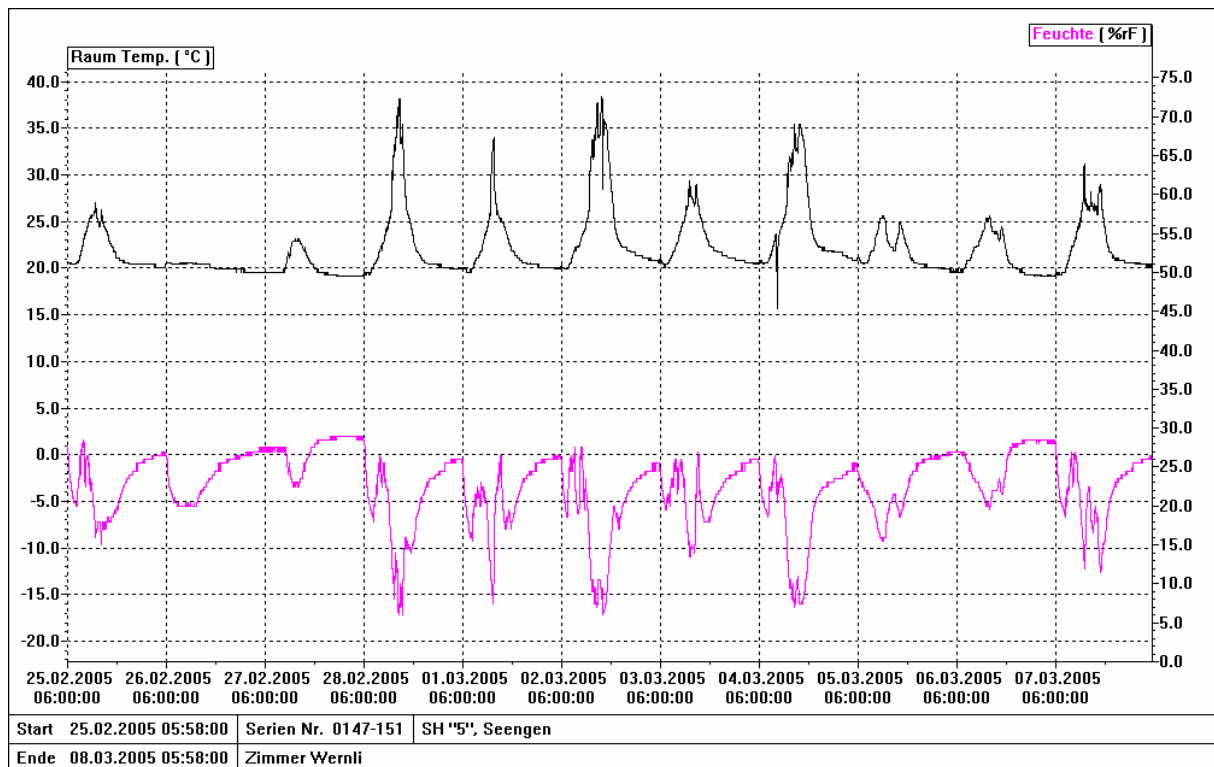
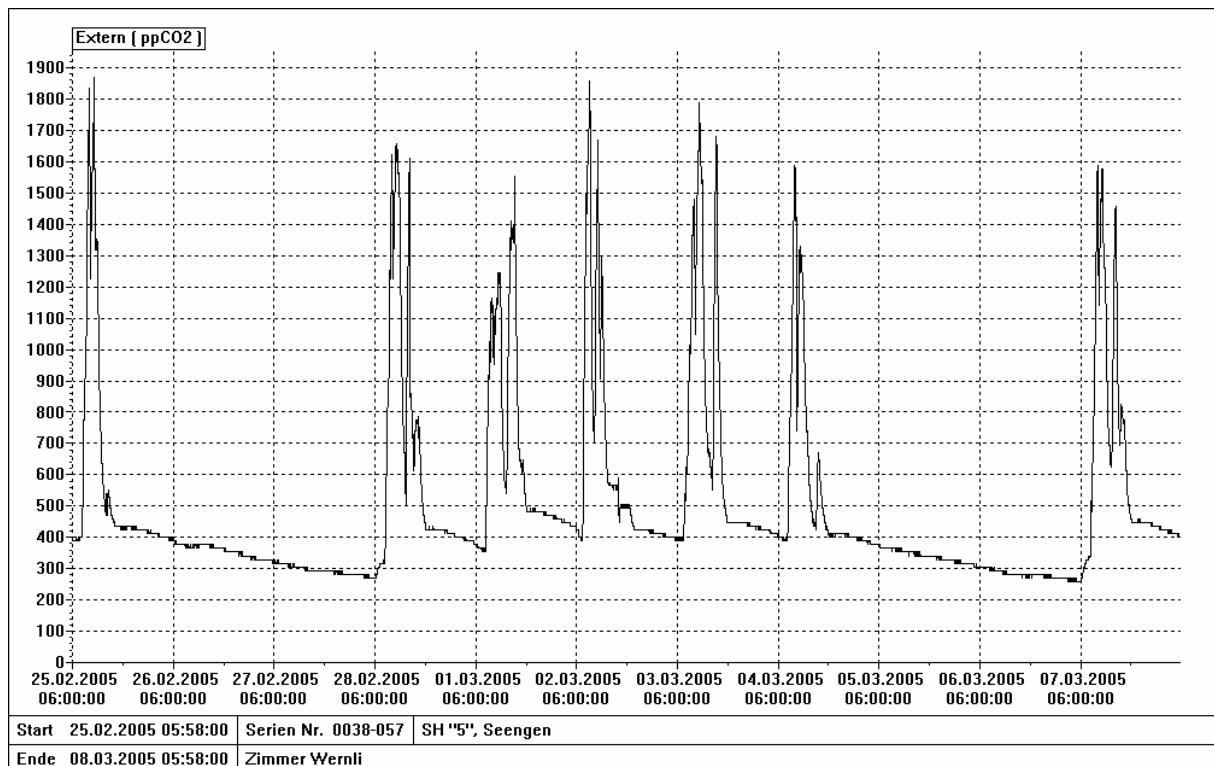
SH „5“, Seengen

Zimmer Kindler



SH „5“, Seengen

Zimmer Wernli



8. Anhang II: Messmethode

LUFTKEIME

Der Nachweis von Schimmelpilz-Sporen und Bakterien in der Luft erfolgt mit einem speziellen Sammelkopf (MAS-100 der Firma MBV AG), mit dessen Hilfe die Sporen direkt auf einem Nährboden abgeschieden werden. Die Nährböden werden im Labor bebrütet und die koloniebildenden Einheiten (KBE) sowie deren Gattungen bestimmt.

Es wurde das Nährmedium TSA verwendet, welches bei 30°C während 5 Tagen inkubiert wurde.

FEINSTAUB

Die Feinstaubmessungen in der Luft wurden mit dem Partikel- und Staubmessgerät 1.108 der Firma *Grimm* ausgeführt. Das Messprinzip basiert auf einer Streulichtmessung mit Laser- und Photodiode.

KONTINUIERLICHE KLIMAMESSUNG

Die kontinuierliche Klimamessung (CO₂-Konzentration, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit) wird mit Messgeräten und Loggern der Firma Escort Messtechnik AG ausgeführt. Die Genauigkeit der Geräte beträgt für die Temperatur $\pm 0.3^\circ\text{C}$, für die Feuchte $\pm 3\%$ und für den CO₂-Gehalt ± 50 ppm.

9. Anhang III: Laboranalyseberichte

Analysenberichte der Firma Interlabor Belp AG im Original bei Baudepartement des Kanton Aargau, Abteilung Hochbauten, Herrn Beat Sigrist, Entfeldstr. 22, 5001 Aarau