



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Erkenntnisse der Studie: „Optimierte Unterrichtsräume in Kärntner Pflichtschulen“

DI Christian Humhal

5. Innenraumtag, am 18. November 2014

# Aufbau

- Ausgangslage und Zielsetzung
- Literaturüberblick
- Methodik
- Ergebnisse
- Empfehlungen & Diskussion

# Ausgangslage und Zielsetzung

- Untersuchung von 5 Pflichtschulen (Messungen in den Heiz- sowie Nichtheizperioden, Erhebung in 5 Schulen/10 Klassen unterschiedlichem Gebäudealters, Bauweise, Belüftungssystemen sowie Regionsprägung etc.) in Kärnten
- Analyse der Einflüsse von Raumparameter/Belüftungssysteme inkl. Einfluss auf Konzentrations-/Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden & Gesundheit
- Raumparameter (CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, Mischgas, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Beleuchtungsstärke) mittels Messsensoren erfassen
- Konzentrationsfähigkeit (d2), psychologischer Aspekt & Erfassung der visuellen Fähigkeiten (inkl. resp. Trakt)

# Ausgangslage und Zielsetzung

- Ziel: Auswirkungen von Konzentrations-/Leistungsfähigkeit aufgrund des Einflusses von versch. Raumparameter zu erhalten
- Identifikation möglicher Zusammenhänge zw. Parameter/Variablen (bspw. subjektives Wohlbefinden und räumliche Gegebenheiten)
- Interdisziplinäres Team: Planer, Arbeitspsychologin, Augenarzt mit Zusatzausbildung als Arbeitsmediziner, Statistiker, Elektrotechniker, Informatiker und Betriebswirtschaftler

# Literaturüberblick (allgemein)

- Intensive Literaturrecherche
- Luftfeuchtigkeit: > 30 Studien
- Raumtemperatur: > 35 Studien
- Kohlendioxid: > 40 Studien
- Akustik: > 10 Studien
- Erfassung mehrerer (Raum-)Indikatoren: 6 Studien
- → Referenzprojekte (weltweit) teilweise widersprüchlich!

# Literaturüberblick (Luftfeuchtigkeit)

- *„... dass die Wahrnehmungsfähigkeit für die relative Luftfeuchte von der Lufttemperatur abhängig ist. So konnten Probanden die relative Luftfeuchte bei 28°C wesentlich besser abschätzen als bei 23°C.“*
- *„... wurde der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Häufigkeit des Auftretens von Erkältungskrankheiten untersucht. Die meisten Studien kommen zu der Erkenntnis, dass durch eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte die Wahrscheinlichkeit, an einem grippalen Infekt zu erkranken, gesenkt werden kann.“*
- *„Bei Beschäftigten einer Produktionsstätte, die bei einer relativen Luftfeuchte von 2,5% arbeiteten, traten im Vergleich zu nicht gegenüber dieser Luftfeuchte exponierten Kollegen vermehrt Beschwerden über trockene Augen auf.“*
- *„Durch eine Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit von im Mittel 26% auf im Mittel 33% kann die Häufigkeit von Klagen über trockene Augen gesenkt werden.“*

# Literaturüberblick (Temperatur)

- *„Bei Untersuchungen in einer Munitionsfabrik zeigte sich, dass das Unfallrisiko bei der Produktion um mehr als 30% stieg, wenn die Raumtemperaturen unter 12°C oder über 24°C lagen.“*
- *„Es verschlechterte sich die Aufmerksamkeit von Schulkindern (Klimakammer-Versuche) bei Temperaturen über 27°C signifikant. Die feinmotorischen Fähigkeiten verbesserten sich jedoch bei höheren Temperaturen.“*
- *„... dass es Untersuchungen gibt, die bei veränderter Temperatur praktisch keine veränderten Ergebnisse aufweisen.“*

# Literaturüberblick (Kohlendioxid)

- *„An 11 dänischen Schulen wurden CO<sub>2</sub>-Werte zwischen 500 bis 1.500 ppm (Mittelwert = 1.000 ppm) gemessen.“*
- *„Bei Untersuchungen in 96 Klassenräumen von 38 schwedischen Schulen zeigte sich, dass 61% der Schulen über mechanische Zu- und Abluftsysteme verfügen, während der Rest der Schulen über „natürliche“ Belüftung verfügt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration lag im Durchschnitt bei 990 ppm, bei 41% der Schulen über 1.000 ppm (Maximalwert = 2.800 ppm).“*
- *„In einer Studie in 50 Klassenräumen wurden Zusammenhänge zwischen der Leistungsfähigkeit von Schülern und der CO<sub>2</sub>-Konzentration festgestellt. Höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen waren mit signifikant schlechteren Ergebnissen bei Mathematiktests korreliert.“*

# Literaturüberblick (Akustik etc.)

- *„Lärm in Schulen kann die mentale Leistung der Schüler beeinträchtigen. Die verminderte Sprachverständlichkeit führt zu verminderter Aufmerksamkeit und Konzentration. Unruhe kann sich ausbreiten, der Lernerfolg wird behindert und Aggressionen vermehren sich.“*
- *„Psychische Reaktionen können schon ab einem Schallpegel von 30 dB auftreten.“*
- Erfassung mehrerer Raumindikatoren:
  - *„LUKI – Luft und Kinder“ Studie“*
  - *„Meine Raumluf-Schulstudie“*
  - *„Interventionsstudie zur Verminderung der Feinstaubkonzentration in Grundschulen“*

# Methodik

- Konzentrationsfähigkeit: d2-Test (Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest)
- Raumparameter: Sensoren (CO<sub>2</sub>, Mischgas, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO, NH<sub>3</sub> sowie Fensterkontakt, Akustik, Licht)
- Befindlichkeitsfragebogen: grundlegende Faktoren des Schülers bzw. seines Alltags (z.B.: Geschlecht, Sehbehelf, Sitzplatz in der Klasse, Pausenverhalten sowie Empfinden des Klassenzimmers, die Beurteilung des Lichts, das Empfinden der Luft, Beurteilung der Akustik etc.)
- ärztl. Untersuchung: Fragebogen (ophtalm. Vorgeschichte, Beschwerden, Fremdkörpergefühl, tägl. Flüssigkeitsaufnahme etc.) sowie Untersuchungen der aktuellen visuellen Fähigkeiten und des respiratorischen Trakts

# Ergebnisse (Befindlichkeit & Konzentration)

- Es besteht ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Einschätzung des Klassenzimmers und der Beurteilung allgemeinen (subjektiven) Wohlbefindens der Schüler. **Je besser das Klassenzimmer beurteilt wurde, desto besser wurde auch das Wohlbefinden eingeschätzt.**
- Schüler in der **ländlichen Region** beurteilen das **Klassenzimmer leicht positiv**, während Schüler der städtischen Region das Klassenzimmer durchschnittliche leicht negativ bewerten.
- Während bei ländlichen Regionen die Luft in der kalten Jahreszeit als besser beurteilt wird, wird in städtischen Regionen die Luft in der warmen Jahreszeit besser beurteilt. In beiden Fällen ergibt sich allerdings nur ein schwacher positiver Zusammenhang.
- **Keine der Schulklassen** war in der **Konzentrationsleistung** oder bei den Fehlerprozent beim d2 Test **signifikant besser oder schlechter** als eine andere. Die Leistungen der Schüler waren der **Altersgruppe entsprechend durchschnittlich**. Auch in der Arbeitsgenauigkeit bzw. Fehleranfälligkeit entsprachen die Schüler dem Durchschnitt.

# Zsfg.: psychologischer Aspekt und Belüftungssystem

Zusammenfassung psychologischer/medizinischer Aspekt und Belüftungssystem

psychologischer Aspekt		kein Belüftungssystem <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>
<b>Befindlichkeitsfragebogen</b>				
Anteil Schüler ohne Sehbehelf		++	-	+
Wohlbefinden in der Schule	Mittelwert	++	+	-
	Median	++	+	-
	Minimum	++	-	+
	Maximum	+	-	++
	25%-Perzentil	++	+	-
	50%-Perzentil	++	+	-
	75%-Perzentil	+	++	-
Beurteilung der Luft in der kalten Jahreszeit	Mittelwert	++	-	+
	Median	++	-	+
	Minimum	++	+	-
	Maximum	-	+	++
	25%-Perzentil	-	+	++
	50%-Perzentil	++	-	+
	75%-Perzentil	+	-	++
Beurteilung der Luft in der warmen Jahreszeit	Mittelwert	-	+	++
	Median	-	++	+
	Minimum	++	-	+
	Maximum	-	+	++
	25%-Perzentil	-	+	++
	50%-Perzentil	-	++	+
	75%-Perzentil	-	+	++
<b>d2-R Test</b>		kein Belüftungssystem <sup>4</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>5</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>6</sup>
Konzentrationsleistung (KL)	Mittelwert	-	+	++
	Median	-	+	++
	Minimum	+	++	-
	Maximum	+	++	-
	25%-Perzentil	+	-	++
	50%-Perzentil	-	+	++
	75%-Perzentil	-	+	++
Fehlerprozent (F%)	Mittelwert	++	-	+
	Median	++	-	+
	Minimum	++	+	-
	Maximum	-	+	++
	25%-Perzentil	+	++	-
	50%-Perzentil	++	-	+
	75%-Perzentil	++	-	+
Bearbeitete Zielobjekte (BZO)	Mittelwert	-	++	+
	Median	-	+	++
	Minimum	+	++	-
	Maximum	+	++	-
	25%-Perzentil	-	+	++
	50%-Perzentil	-	+	++
	75%-Perzentil	-	+	++

# Ergebnisse (psychologischer Aspekt & Bel.)

- Klassen mit **CO2-gesteuerten Belüftungsanlagen** weisen die **höchsten Durchschnittswerte der Konzentrationsleistung** beim d2 Test auf. Am schwächsten fällt die Konzentrationsleistung in Klassen ohne kontrollierte Belüftung aus.
- Der Anteil an Schülern ohne Sehbehelf (Brille, Kontaktlinse) ist in Klassen ohne Belüftungssystem am geringsten, gefolgt von Klassen mit CO2-gesteuerten Belüftungsanlagen.
- Die Beurteilung der **Luft** in der **kalten Jahreszeit** (entsprechend dem Befindlichkeitsfragebogen) wird in Klassen **ohne kontrollierte Belüftung besser bewertet**.
- Das **Wohlbefinden** in der Schule wird bei Klassen **ohne kontrollierte Belüftung am besten bewertet**.

medizinischer Aspekt			
	kein Belüftungssystem <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>
<b>Fragebogen zum trockenen Auge</b>			
Beschwerden an den Augen (Kratzen)	+	++	-
Beschwerden an den Augen (Brennen)	++	-	+
Beschwerden an den Augen (Juckreiz)	-	++	+
Beschwerden an den Augen (Fremdkörpergefühl)	-	++	+
Beschwerden an den Augen (Müdigkeit)	-	++	+
Beschwerden an den Augen (Lidzittern)	-	++	+
Beschwerden an den Augen (Lidkrampf)	++	-	+
Beschwerden an den Augen (Druck/Schmerz)	++	+	-
Beschwerden an den Augen (verklebte Augen)	+	++	-
Brillenträger	++	-	+
Kontaktlinsenträger	-	+	++
Augenerkrankungen	-	+	++
Belastungen (Allergie)	+	++	-
Belastungen (Entzündung)	++	-	+
Augentropfen	+	++	-
<b>Augenärztliche Untersuchung</b>			
SICCA (Anteil an Schülern mit trockenen Augen)	-	++	+
VisusSC (Anteil Schüler, die ohne korrigierende Hilfen zu 100% sehen)	++	+	-
Stereosehen	+	++	-
VAS Visus (subjektive Zufriedenheit mit dem Sehen)	+	-	++
VAS Befindlichkeit (Zufriedenheit mit der allgemeinen Gesundheit)	-	+	++

Legende:

++ bester Wert (am wenigsten Beschwerden etc.), + zweitbesten Wert, - schlechtesten Wert (am meisten Beschwerden etc.)

# Ergebnisse (med. Aspekt & Bel.-system)

- Klassen **ohne kontrollierte Belüftung** weisen bspw. bei den **Beschwerden an den Augen (Brennen) einen geringeren Anteil** auf, während Klassen mit dezentralen/lokalen Belüftungssystemen etwa bei Beschwerden an den Augen (Fremdkörpergefühl) den geringsten Anteil aufweisen. Klassen mit CO<sub>2</sub>-gesteuerten Anlagen befinden sich bei den meisten Augenbeschwerden im Mittelfeld.
- Klassen mit **CO<sub>2</sub>-gesteuerten Belüftungsanlagen** weisen den **geringsten Anteil** an Schülern mit **Augenerkrankungen** auf, während Klassen ohne kontrollierte Belüftung den höchsten Anteil aufweisen.
- Den **höchsten Anteil** an Schülern mit einem Hinweis auf **trockene Augen** weisen Klassen **ohne kontrollierte Belüftung** auf. Die Belüftungsart hat aber nur einen geringen Einfluss auf die Benetzung der Augenoberfläche (SICCA).

→ Bei der Betrachtung des psychologischen und medizinischen Teils ergibt sich **kein eindeutiges Bild im Zusammenhang mit** dem zu verwendenden bzw. zu bevorzugenden **Belüftungssystem**. Es ergeben sich bei den meisten betrachteten Parametern **keine oder nur schwach signifikante Unterschiede** zwischen den Belüftungssystemen. Bei vielen erhobenen Parametern handelt sich um **subjektive Einschätzungen** der Schüler, die neben dem Belüftungssystem auch noch von **anderen Faktoren beeinflusst** werden.

# Ergebnisse (Akustik & Licht)

- Die Akustik wird in allen Klassen/Belüftungsarten als durchschnittlich positiv beurteilt.
- Es besteht eine leichte Tendenz dazu, dass eine bessere Beurteilung bzw. Einschätzung der Akustik zu einem höheren (subjektiven) Wohlbefinden führt. Allerdings hatte die Beurteilung der Akustik keinen Einfluss auf die Konzentrationsleistung.
- Sowohl das natürliche Licht als auch das künstliche Licht wird von allen Klassen durchschnittlich als positiv bewertet. Der Sitzplatz in der Klasse bzw. am Fenster hat keinen Einfluss auf die Beurteilung des natürlichen und künstlichen Lichts.
- Je besser das künstliche sowie das natürliche Licht von den Schülern eingeschätzt werden, desto höher ist die Zufriedenheit mit dem subjektiven Sehen.

# Zsfg.: CO2, Mischgas, Unterrichtszeit und Belüftungssystem

Zusammenfassung CO2 nach Belüftungssystem (Unterrichtszeit)				Zusammenfassung Mischgas nach Belüftungssystem (Unterrichtszeit)				
kalte Jahreszeit				kalte Jahreszeit				
CO2 ppm	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	Mischgas VOC (V)	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	
Mittelwert	+	-	++	Mittelwert	-	+	++	
Median	+	-	++	Median	-	+	++	
Minimum	+	-	++	Minimum	-	++	+	
Maximum	+	-	++	Maximum	-	+	++	
Perzentile	25	-	++	Perzentile	25	++	+	
	50	+	++		50	-	+	++
	75	+	++		75	-	+	++
warme Jahreszeit				warme Jahreszeit				
CO2 ppm	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>4</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	Mischgas VOC (V)	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>4</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	
Mittelwert	-	++	+	Mittelwert	-	++	+	
Median	-	++	+	Median	-	++	+	
Minimum	+	++	-	Minimum	+	++	-	
Maximum	-	++	+	Maximum	-	+	++	
Perzentile	25	-	+	Perzentile	25	++	-	
	50	-	+		50	-	++	+
	75	-	+		75	-	++	+
gesamter Messzeitraum				gesamter Messzeitraum				
CO2 ppm	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	Mischgas VOC (V)	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	
Mittelwert	+	-	++	Mittelwert	-	+	++	
Median	+	-	++	Median	-	+	++	
Minimum	+	-	++	Minimum	-	+	++	
Maximum	++	-	+	Maximum	-	+	++	
Perzentile	25	-	++	Perzentile	25	++	+	
	50	+	++		50	-	++	++
	75	+	++		75	-	+	++

**Legende:**

++ bester Wert, + zweitbesten Wert, - schlechtesten Wert

CO2 < 1.000 ppm = hygienisch unbedenklich --> keine weiteren Maßnahmen

CO2 1.000 - 2.000 ppm = hygienisch auffällig --> Lüftungsmaßnahmen, Lüftungsverhalten/-anlagen überprüfen und verbessern

CO2 > 2.000 ppm = hygienisch inakzeptabel --> Belüftbarkeit des Raums prüfen ggf. weitergehende Maßnahmen

Mischgas 0 - 10 V (0 V = saubere Luft, 10 V = verschmutzte Luft) < 1V = sehr saubere Luft

Mischgas < 5 V = leicht verschmutzte Luft

Mischgas > 5 V = verschmutzte Luft

## Ergebnisse (CO<sub>2</sub> & Mischgas)

- Erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von mehr als 1.000 ppm treten meist am Vormittag und um die Mittagszeit auf bzw. bei voll besetzten Klassen.
- Klassen mit **CO<sub>2</sub>-gesteuerten Belüftungsanlagen** weisen **sehr geringe Werte** der CO<sub>2</sub>-Konzentration sowohl über den gesamten Messzeitraum als auch während der Unterrichtszeit auf, vor allem gegenüber Klassen ohne kontrollierte Belüftung.
- Bei den Sommermessungen sind die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen geringer als im Winter.
- Es besteht eine leichte Tendenz dazu, dass mit zunehmenden CO<sub>2</sub>-Werten auch die Fehlerprozent beim d<sub>2</sub>-Test zunehmen.
- Die Mittelwerte der Schulen weisen zwar eine **geringe aber ständige Konzentration** von **Mischgas** auf.
- Klassen mit CO<sub>2</sub>-gesteuerten Anlagen weisen die niedrigsten Mischgaskonz. auf
- Die Messwerte im Sommer fallen geringer aus als jene im Winter.

# Zsfg.: Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Unterrichtszeit und Belüftungssystem

Zusammenfassung Luftfeuchtigkeit nach Belüftungssystem (Unterrichtszeit)				Zusammenfassung Temperatur nach Belüftungssystem (Unterrichtszeit)				
kalte Jahreszeit				kalte Jahreszeit				
Luftfeuchtigkeit %	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	Temperatur °C	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	
Mittelwert	++	+	-	Mittelwert	+	++	-	
Median	++	+	-	Median	-	++	+	
Minimum	++	+	-	Minimum	+	+	++	
Maximum	-	+	++	Maximum	-	++	+	
Perzentile	25	++	+	Perzentile	25	+	-	
	50	++	+		50	+	++	-
	75	++	+		75	+	++	-
warme Jahreszeit				warme Jahreszeit				
Luftfeuchtigkeit %	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>4</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	Temperatur °C	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>4</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	
Mittelwert	+	++	-	Mittelwert	++	+	-	
Median	+	++	-	Median	++	+	-	
Minimum	++	+	-	Minimum	++	-	+	
Maximum	+	-	++	Maximum	++	+	-	
Perzentile	25	+	++	Perzentile	25	++	-	
	50	+	++		50	++	+	-
	75	+	++		75	++	+	-
gesamter Messzeitraum				gesamter Messzeitraum				
Luftfeuchtigkeit %	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	Temperatur °C	kein Belüftungssystem (gesamt) <sup>1</sup>	dezentrale/lokale Belüftung <sup>2</sup>	CO2 gesteuerte Anlage <sup>3</sup>	
Mittelwert	++	+	-	Mittelwert	+	++	-	
Median	++	+	-	Median	+	++	-	
Minimum	++	+	-	Minimum	+	-	++	
Maximum	-	+	++	Maximum	+	++	-	
Perzentile	25	++	+	Perzentile	25	+	-	
	50	++	+		50	+	++	-
	75	++	+		75	+	++	-

**Legende:**

++ bester Wert, + zweitbesten Wert, - schlechtester Wert

**Luftfeuchtigkeit** (grün) Luftfeuchtigkeit im Idealbereich zwischen 40 und 60%.

**Luftfeuchtigkeit** (gelb) Leichte Unter-/Überschreitung des Normbereichs, Luftfeuchtigkeit noch > 30% bzw. < 70%

**Luftfeuchtigkeit** (rot) Luftfeuchtigkeit < 30% bzw. > 70% (hygienisch bedenklich)

**Temperatur** (grün) Idealbereich zwischen 20 - 22°C

**Temperatur** (gelb) Bereich zwischen 18 - 24°C (unter 18°C bzw. über 24°C sinkt das Wohlbefinden/Behaglichkeit)

**Temperatur** (rot) Unter-/Überschreitung von 18 bzw. 24°C

# Ergebnisse (Luftfeuchtigkeit & Temperatur)

- Die **Luftfeuchtigkeit** lag in der isolierten Betrachtung über alle Belüftungssysteme hinweg **eher sehr niedrig** (zumeist unterhalb des Normbereichs von 40 bis 60%. Teilweise wird auch die Grenze von 30% unterschritten), dies gilt sowohl für den gesamten Messzeitraum als auch für die Unterrichtszeit. Klassen ohne kontrollierte Belüftung wiesen dabei gesamt gesehen noch die besten Werte auf.
- Bei den **Sommermessungen** liegen die Luftfeuchtigkeitswerte **etwas höher**, sie liegen in mehr Klassen innerhalb des Normbereichs bzw. weniger deutlich unterhalb des Normbereichs.
- Die **durchschnittliche Temperaturen** der meisten Schulklassen bzw. Belüftungssysteme lagen **oberhalb des Normbereichs**. Die Temperaturunterschiede zwischen den Klassen bzw. Belüftungssystemen sind vorhanden aber trotzdem gering.
- Alle Klassen bzw. Belüftungssysteme weisen Ausreißer auf, die außerhalb des Behaglichkeitsbereichs liegen. Klassen **ohne kontrollierte Belüftung weisen allerdings die stärksten Ausreißer** auf. Diese liegen bei sehr hohen Luftfeuchtigkeitswerten und niedrigen Temperaturen.

# Raumparameter & Belüftungssystem (1)

- Vor allem im Zusammenhang mit **CO<sub>2</sub> und Mischgas** weisen Klassen mit **CO<sub>2</sub>-gesteuerten Anlagen** wesentlich **niedrigere Konzentrationen** auf, vor allem gegenüber Klassen ohne kontrollierte Belüftung.
- Ein **Indiz** dafür ist auch die **eruierte Konzentrationsleistung** beim d2-Test. Hier wiesen Schüler in Klassen mit **CO<sub>2</sub>-gesteuerten Anlagen** die **höchsten Durchschnittswerte der Konzentrationsleistung** auf.
- Beim Mischgas gilt ähnliches. Hier weisen Klassen mit CO<sub>2</sub>-gesteuerten Anlagen signifikant bessere Werte bzw. niedrigere Konzentrationen auf, als dies bei den anderen Belüftungssystemen der Fall ist.
- → Zur Reduktion der CO<sub>2</sub>- & Mischgas Konzentration in den Klassenräumen scheint daher die Verwendung von CO<sub>2</sub>-gesteuerten Belüftungsanlagen sinnvoll.

# Raumparameter & Belüftungssystem (2)

- Problematischer ist eine Einschätzung im Zusammenhang mit den Raumparametern Luftfeuchtigkeit und Raumtemperatur.
- Es ist bspw. umstritten, inwieweit der Mensch in der Lage ist, die **Luftfeuchtigkeit sensorisch abzuschätzen**. Ebenso kommen die bisher **vorliegenden Untersuchungen** zum Thema Leistungsfähigkeit und thermisches Raumklima zu **unterschiedlichen Ergebnissen**. Auch der Behaglichkeitsbereich ist von Person zu Person unterschiedlich.
- → Dies macht eine eindeutige Empfehlung schwierig.
- Generell gilt, dass sowohl zu hohe (Gefahr der Schimmelbildung) und zu niedrige Werte für die Luftfeuchtigkeit vermieden werden sollten.
- Auch die **Ausreißer** sind bei Klassen **ohne kontrollierter Belüftung sowie bei Klassen mit dezentralen/lokalen Belüftungssystemen stärker ausgeprägt** bei Klassen mit CO<sub>2</sub>-gesteuerten Anlagen etwas schwächer ausgeprägt (hohen Luftfeuchtigkeitswerte und niedrigen Temperatur).
- → Scheint die Verwendung von CO<sub>2</sub>-gesteuerten Belüftungsanlagen sinnvoll?

# Empfehlungen & Diskussion (1)

- → Basis: Datenmaterial (Messungen in den Heiz- sowie Nichtheizperioden, Erhebung in 5 Schulen/10 Klassen unterschiedlichem Gebäudealters, Bauweise, Belüftungssystemen sowie Regionsprägung etc.) & Literaturrecherche
- Belüftungssystem - CO<sub>2</sub>, Mischgas:
- Unterscheidung - Fensterlüftung vs. Belüftungssystem (diskontinuierliche Lüftungssituation vs. kontinuierliche Be- und Entlüftung)
  - Laufende Lüftungsphasen, Pausen sind aber zu kurz für ausreichende Querbelüftung, Stört den Unterricht (& Sicherheitsaspekt, Fenster verschlossen) → Lüftungsampel
- Reduzierung der CO<sub>2</sub>-/Mischgas Konzentrationen
  - Senkung der Belegungszahlen der Klassen, Berücksichtigung des Lüftungsaspektes beim Einbau von Fenstern bzw. Fenstersicherungen, so dass eine ausreichende Lüftung von Klassenräumen möglich ist, Einbau einer kontrollierten Raumlüftungsanlage
- Richtige Wartung
  - Laufende Kontrolle der Anlagen, ev. Nachjustierarbeiten, regelmäßige Filtertausch etc., Aufklärung (Vorbeugen von Wissenslücken bei der Bedienung, Schulung der LehrerInnen/Schulwarte etc.).
- → Es wird in den Schulen trotz Lüftungsanlage nach subjektivem Empfinden „willkürlich“ gelüftet, was die optimale Funktion der entsprechenden Anlagen nicht unterstützt.

# Empfehlungen & Diskussion (2)

- Temperatur:
  - Temperaturverläufe in künstlich belüfteten Räumen werden vor allem im Winter durch die Klimatechnik bestimmt.
  - Senkung Raumtemperatur im Sommer: Sonnenschutz (gute Hinterlüftung, ausreichenden Abstand des Sonnenschutzes von der Fassade).
  - Richtiges Lüften: Schaffen eines Durchzugs sowie Grünpflanzen zur Senkung der Raumtemperaturen .
- Luftfeuchte:
  - Hochwertige Innenputze als Feuchtigkeitspuffer.
  - Dichte Gebäudehülle sowie die Anpassung der Luftmenge nach Bedarf (bspw. Anzahl Schüler).
  - Ähnlich der Raumtemperatur tragen auch Pflanzen zur optimalen Luftfeuchtigkeit bei, jedoch kann es zu erhöhter Feuchte in der warmen Jahreszeit kommen.
  - Platzieren eines Luftbefeuchters in der Klasse und/oder Installation eines Belüftungssystem, das der trockenen Heizungsluft im Winter wieder Feuchtigkeit zuführt.
  - Baumaterialien und die Bauweise sowie die Beseitigung von Bauschäden oder Baufehlern beeinflussen die Luftfeuchtigkeit, den CO<sub>2</sub>-Wert und die Temperatur wesentlich.

# Literatur

Andersen, I. B., Lundqvist, G. R., Jensen, P. L., Proctor, D. F. (1974): Human response to 78-hour exposure to dry air. Arch. Environm. Health 29, pp. 319-342.

Andersen, I. B., Lundqvist, G. R., Proctor, D. F. (1972): Human nasal mucosal function under four controlled humidities. Am. Rev. Respir. Dis. 106, pp. 438-449.

Apte, M. G., Fisk, W. J., Daisey, J. M. (2000): Associations between indoor CO<sub>2</sub> concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: An analysis of the 1994–1996 BASE study data. Indoor Air 10, pp. 246-257.

Benesch, T. (2013): Schlüsselkonzepte zur Statistik, die wichtigsten Methoden, Verteilungen, Tests anschaulich erklärt. Springer Verlag. Berlin/Heidelberg, S. 74-80

Boos, R., Damberger, B., Hutter, H. P., Kundi, M., Moshhammer, H., Tappler, P., Twrdik, F., Wallner, P. (2005): Bewertung der Innenraumlufthygienischer Parameter, Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter.

[http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/richtlinie\\_innenraum/Teil-7---CO2\\_2011-08-21/Teil%207%20-%20CO2\\_2011-08-21.pdf](http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/richtlinie_innenraum/Teil-7---CO2_2011-08-21/Teil%207%20-%20CO2_2011-08-21.pdf)

Brandl, A., Tappler, P., Twrdik, F., Damberger, B. (2001): Untersuchungen raumlufthygienischer Parameter in oberösterreichischen Schulen. In: AGÖF Tagungsband des 6. Fachkongresses 2001 – Umwelt, Gebäude und Gesundheit: Nürnberg, S. 355-366.

# Literatur

Brosius, F. (2012): SPSS für Dummies. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Bühl, A., Zöfel P. (2000): SPSS Version 10, Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. Addison Wesley Verlag. München.

Dietrich, S., Lahrz, T., Grams, H., Twardella, D., Schwegler, U., Fromme, H. (2010): Landesuntersuchungsprogramm in öffentlichen Einrichtungen (LUPE I): Interventionsstudie zur Verminderung der Feinstaubkonzentration in Grundschulen.

[http://www.lgl.bayern.de/gesundheit/arbeitsplatz\\_umwelt/projekte\\_a\\_z/doc/bericht\\_lupe1\\_kurz.pdf](http://www.lgl.bayern.de/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/projekte_a_z/doc/bericht_lupe1_kurz.pdf)

Fang, L., Clausen, G., Fanger, P. O. (1998): Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures. Indoor Air 8, pp. 276-284.

Fang, L., Wyon, D. P., Clausen, G., Fanger, P. O. (2004): Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. Indoor Air 14, pp. 74-81.

Fiedler, K. (1998): Luftfeuchtigkeit und Gesundheit. Wohnmedizin 36, S. 67-69.

Fiedler, K., Hoyer, H. (1996): Logistische Regressionsanalysen zum Einfluss von Wohnumwelt, Wohnhygiene und Lebensweise auf die Häufigkeit und Dauer akuter respiratorischer Erkrankungen bei Kleinkindern. Zbl. Hyg. 198, S. 204-214.

# Literatur

Fromme, H., Dietrich, S., Kiranoglu, M., Twardella, D., Schierl, R., Nowak, D., Heitmann, D., Gassel, R. P. (2003): Innenraumbehaglichkeit. Wohnmedizin 41, S. 57-60.

Gelperin, A. (1973): Humidification and upper respiratory infection incidence. Heat. Pip. Air Condit. 45, pp. 77-78.

Grams, H., Hehl, O., Dreesman, J. (2004): Niedersächsisches Schulmessprogramm: Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Raumluftqualität in Klassenräumen sowie Modellierung von Kohlendioxid-Verläufen. Niedersächsisches Landesgesundheitsamt. [http://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/schulen/Luftqualit\\_Niedersaechsisches\\_Schulmessprogramm.pdf](http://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/pdf/schulen/Luftqualit_Niedersaechsisches_Schulmessprogramm.pdf)

Green, G. H. (1974): The effect of indoor relative humidity on absenteeism and colds in schools. ASHRAE Trans. 80, pp. 131-141.

Green, G. H. (1985): Indoor relative humidities in winter and the related absenteeism. ASHRAE Trans. 91, pp. 643-653.

Greml, A., Blümel, E., Gössler, A., Kapferer, R., Leitzinger, W., Suschek-Berger, J., Tappler, P. (2008): Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen und Erstellung eines Planungseifadens. Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. [http://www.hausderzukunft.at/hdz\\_pdf/enderbericht\\_0814\\_klassenzimmerlueftung.pdf](http://www.hausderzukunft.at/hdz_pdf/enderbericht_0814_klassenzimmerlueftung.pdf)

# Literatur

Hatzinger, R., Nagel, H. (2013): Statistik mit SPSS, Fallbeispiele und Methoden.2., aktualisierte Auflage. Pearson Deutschland GmbH.

Hellwig, R. T., Antretter, F., Holm, A., Sedlbauer, K., (2009): Untersuchungen zum Raumklima und zur Fensterlüftung in Schulen. Bauphysik 31, Heft 2, S. 1-12.

Hellwig, R. T., Nöske, I., Brasche, S., Gebhardt, H., Levchuk, I., Bischof, W. (2012): Hitzebeanspruchung und Leistungsfähigkeit in Büroräumen bei erhöhten Außentemperaturen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Berlin.

Koch, W., Jennings, B. H., Humphreys, C. M. (1960): Environmental study II – Sensation responses to temperature and humidity under still air conditions in the comfort range. In: ASHRAE Trans. 66, pp. 264-287. Komfortlüftungsinfo Nr. 9: Luftmengen – Luftfeuchtigkeit.

[http://www.raumluft.org/fileadmin/raumluft.org/EFH/komfortlueftung.at-Info09\\_Luftmenge-Luftfeuchte\\_EFH\\_V\\_1.0.pdf](http://www.raumluft.org/fileadmin/raumluft.org/EFH/komfortlueftung.at-Info09_Luftmenge-Luftfeuchte_EFH_V_1.0.pdf)

Körner, W. (2006): Frische Luft an bayerischen Schulen. Untersuchungen zur Verbesserung der Luftqualität. Vorläufige Zusammenfassung. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit.

[http://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/schulen/Luftqualit\\_Schulen\\_BY.pdf](http://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/pdf/schulen/Luftqualit_Schulen_BY.pdf)

Langkilde, G. (1978): The influence of the thermal environment on office work. In: Fanger, P. O., Valbjörn, O. (Hrsg.): Indoor Climate. Kopenhagen: Byggeforskningsinstitut.

# Literatur

Langkilde, G., Alexandersen, K., Wyon, D. P., Fanger, P. O. (1973): Mental performance during slight cool or warm discomfort. Archives des Sciences Physiologiques 27, A 511-A 518.

Laviana, J. E., Rohles, F. H., Bullock, P. E. (1988): Humidity, comfort and contact lenses. ASHRAE Trans. 94, pp. 3-11.

McIntyre, D. A. (1978): Response to atmospheric humidity at comfortable air temperature: A comparison of three experiments. Ann. Occup. Hyg. 21, Nr. 2, pp. 177-190.

Meine Raumluf-Schulstudie (2012): Raumlufqualität in Schulen: Ergebnisse der Einzelwerte.  
[www.meineraumluf.at/upload/docs/Ergebnisse\\_und\\_Interpretation.pdf](http://www.meineraumluf.at/upload/docs/Ergebnisse_und_Interpretation.pdf)

Mendell, M. J. (1993): Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature. Indoor Air 3, pp. 227-236.

Mendell, M. J., Heath, G. A. (2005): Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of literature. Indoor Air, 15, pp. 27-52.

Nagda, L., Hodgson, M. (2001): Low relative humidity and aircraft cabin air quality. Indoor Air 11, pp. 200-214.

Nicol, F., McCartney, K. (2000): Smart controls and thermal comfort project. Final report. Oxford Brooks University School of Architecture.

Nielsen, O. (1984): Quality of air and the amount of fresh air in classrooms. In: Indoor Air: Buildings, Ventilation and Thermal Climate. Berglund, B., Lindvall, T., Sundell, J., Eds., Swedish Council for Building Research, 5, pp. 221-226.

# Literatur

Pepler, R. D., Warner R. E. (1968): Temperature and Learning: An Experimental Study. ASHRAE Annual Meeting, Research Report No. 2089 RP-57, Lake Placid, New York, 24. - 26. Juni 1968, pp. 211-219.

Reinikainen, L. M., Jaakkola, J. J. K., Seppänen, O. (1992) : The effect of air humidification on symptoms and perception of indoor air quality in office workers – A six-period cross-over trial. In: Arch. Environm. Health 47, pp. 8-15.

Reinikainen, L. M., Aunela-Tapola, L., Jaakkola, J. J. K. (1997): Humidification and perceived indoor air quality in the office environment. Occup. Environm. Med. 54, pp. 322-327.

Sale, C. S. (1971): Humidification during the cold weather to assist perennial allergic rhinitis patients. Ann. Allergy 29, pp. 356-357.

Sato, M., Fukayo, S., Yano, E. (2003): Adverse environmental health effects of ultra-low relative humidity indoor air. J. Occup. Health 45, pp. 133-136.

Schrader, G., Bischof, W., Horn, H. (1983): Mentale Leistung unter variierten Raumklimabedingungen. Stadt- und Gebäudetechnik, 37, 7, S. 212-214.

Sedlbauer, K., Holm, A., Hellwig, R. (2009): Raumklima und Schülerleistung. Durchgeführt im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) Osnabrück. <http://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-23991-Band%202.pdf>

Seppänen, O. A., Fisk, W. J., Mendell, M.J. (1999): Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. Indoor Air 9: pp. 226-252.

# Literatur

Shaughnessy R., Haverinen-Shaughnessy U., Nevalainen A. and Moschandreas D. (2005): Carbon dioxide concentrations in classrooms and association with student performance: a preliminary study. In: Indoor Air '05 – Proc. 10th Internat. Conference On Indoor Air Quality and Climate, Beijing, China, Vol. 1, pp. 373– 376

Shaughnessy, R. J., Haverinen-Shaughnessy, U., Nevalainen, A., Moschandreas, D. (2006): A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms an student performance. Indoor Air, 16, pp. 465-468.

Shendell, D., Prill, R., Fisk, W. J., Apte, M. G., Blake, D., Faulkner, D. (2004): Associations between classroom CO2 concentrations and student attendance in Washington and Idaho. Indoor Air, 14, pp. 333-341.

Smedje, G., Norback, D., Edling, C. (1997): Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure. Indoor Air, 7, pp. 143-150.

Smedje, G., Norback, D., Wessen, B., Edling, C. (1996): Asthma among school employees in relation to the school environment. In: Proceedings of Indoor Air '96: The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Nagoya, Japan, July, 1996, Vol. 1, pp. 611-616.

Sommer, H., Johnen, J., Schongen, P., Stolze, H. (1994): Adaptation of the tear film to work in air-conditioned rooms (office-eye syndrome). Ger. J. Ophthalmol. 3, pp. 406-408.

Strauss, R. H., McFadden, E. R., Ingram, R. H., Deal, E. C., Jaeger, J. J. (1978): Influence of heat and humidity on the airway obstruction induced by exercise in asthma. J. Clin. Invest. 61, Nr. 2, pp. 433-440.

# Literatur

Sundell, J., Lindvall, T. (1993): Indoor air humidity and sensation of dryness as risk indicators of SBS. *Indoor Air* 3, pp. 382-390.

Tappler, P. et al. (2014): Neue Energien 2020, Lüftung 3.0 Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern. 1. Ausschreibung Klima- und Energiefond des Bundes.

Urlaub, S., Hellwig, R. T., Treeck, C. van, Sedlbauer, K. (2010): Möglichkeiten und Grenzen bei der Modellierung von Einflussfaktoren auf die menschliche Leistungsfähigkeit. *Bauphysik* 32, Nr. 6, S. 373-379.

von Hahn, N. (2007): „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. In: *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 67 (3), S. 103-107.

Wargocki, P., Wyon, D. P. (2006): Research report on effects of HVAC on student performance. *ASHRAE Journal*, Oktober 2006, pp. 22-28.

Wyon, D. P. (1979): The effects of moderate heat stress on mental performance. *Scand. J. work environment & health*, Nr. 5, pp. 352-361.

Wyon, D. P. (1986): The effects of indoor climate on productivity and performance. *VVS & Energi; Organ för VVS-Tekniska Föreningen*, 3, pp. 59-65.

Wyon, D. P. (1996): Indoor Environmental Effects on Productivity. *Indoor Air Quality 1996, Paths to Better Building Environments*, Keynote Address, pp. 5-15.



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

**7. Internationaler Facility Management Kongress**



am 20./21. November 2014 an der TU Wien

Kontakt:

**DI Christian Humhal**  
Technische Universität Wien  
Institut für Managementwissenschaften  
IFM – Immobilien und Facility Management  
Treitlstraße 1-3, 5.Stock, 1040 Wien  
Tel: +43 (0)1 58801-42744  
christian.humhal@ifm.tuwien.ac.at