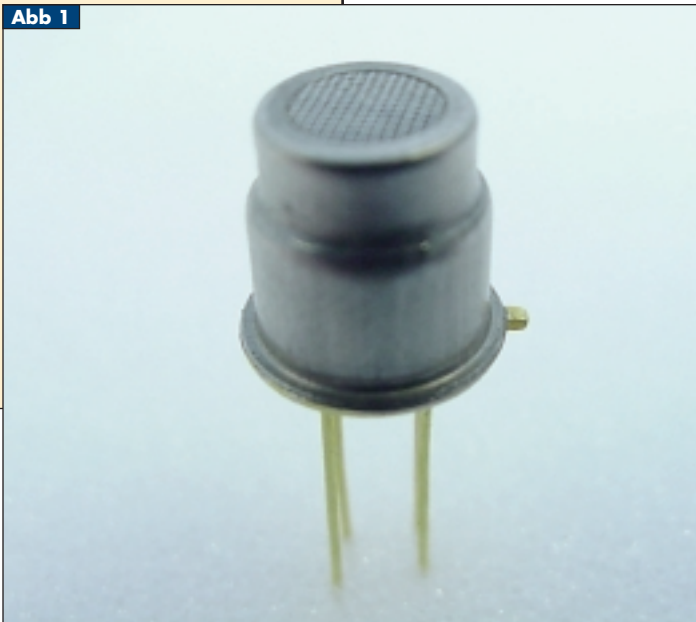




Gebäudelüftung mit Luftqualitäts-Regelung

Abb 1



- ▶ **Luftqualitätssensoren ermöglichen hohen Raumkomfort bei reduziertem Energieeinsatz für Lüftung oder Klimatisierung**
- ▶ **Die komplexe und bislang eher subjektive Größe „Luftqualität“ ist mit verbesserten Sensorsystemen messbar**
- ▶ **Wirtschaftlichkeit ist für viele Gebäudetypen gegeben**
- ▶ **Verbessertes Mischgas-Sensorsystem bald am Markt**

Metalloxid-Sensor zur Luftqualitätsmessung. Erst das ausgeklügelte Auswerteverfahren ermöglicht aussagekräftige Messwerte.

Bekannt ist folgende Situation: Schon länger sitzt man im Büro oder in einer Veranstaltung - wir werden unkonzentriert oder sogar schläfrig. Erst jemand, der von außen hereinkommt, merkt wie dringend gelüftet werden müsste. Wir Menschen haben zwar eine feine Nase, doch in solchen Situationen gewöhnt sie sich an die schlechte Luft.

Die Lüftung in Gebäuden erfolgt entweder von Hand oder mit mechanischen Lüftungsanlagen. In beiden Fällen wird nur selten bedarfsorientiert gelüftet. Bei der Lüftung von Hand wird oft zu spät und dann zu viel gelüftet. Bei der mechanischen Lüftung dagegen werden die Volumenströme meist zentral eingestellt und nach starren Zeitprogrammen geschaltet, die Volumenströme orientieren sich an der maximalen Luftbelastung. Daher wird in vielen Gebäuden mit wechselnder Belegungsdichte oft unnötig stark gelüftet. Dies gilt vor allem für Tagungsräume und Hörsäle, Theater und Kinos, Hotels, Kneipen und Restaurants, Sportstätten etc. Dort wird mit viel Energieeinsatz permanent Luft umgewälzt und ggf. ent- oder befeuchtet, obwohl das in diesem Umfang nicht notwendig ist.

Auch aufwändige Regelungskonzepte haben hierbei ihre Tücken: Mit den teuren Kohlendioxid-Sensoren kann zwar verbrauchte Luft erkannt werden - die Ausdünstungen der Büroeinrichtung, von

Menschen oder beispielsweise Tabakrauch werden jedoch nicht registriert. Folglich wird die Luft hier nicht in dem Maße ausgetauscht, wie dies aufgrund der - gegebenenfalls besonderen - Nutzungssituation nötig wäre.

Nun sind schon seit längerem Mischgas-Sensoren erhältlich, mit denen ein für die Lüftungsregelung relevantes Spektrum an Gasen und Dämpfen detektiert werden kann. Mischgas-Sensoren reagieren auf Tabakrauch, Ausdünstungen von Menschen und Büroeinrichtung und vieles mehr. Aber etablieren konnten sich diese „breitbandigen“ Sensoren bislang nicht. Denn die Messgenauigkeit ist unbefriedigend: Mangelnde Stabilität des Messsignals und Alterungseffekte sowie Querempfindlichkeiten bezüglich Temperatur, Feuchtigkeit oder Luftdruck schränken die Einsatzmöglichkeiten deutlich ein.

In einem Verbundforschungsprojekt wurde jetzt ein Mischgas-Sensorsystem mit erheblich besseren Eigenschaften entwickelt und erprobt. Es ist zur Regelung von Gebäudelüftungssystemen geeignet und wird in Kürze in Praxistests für die Markteinführung vorbereitet. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert, es haben sich Firmen der Sensor- und Umweltmesstechnik, der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik, der Regelungs- und Klimatechnik sowie ein universitäres Forschungsinstitut beteiligt.

► Bedarfsorientierte Lüftung

Immer wenn in Gebäuden zu wenig gelüftet wird, riecht es bald miefig, die mit Schad- und Geruchsstoffen belastete Raumluft wird nur ungenügend durch frische Luft ersetzt und unter Umständen wird Luftfeuchtigkeit nicht ausreichend abgeführt. In der DIN 1946 werden daher bestimmte, personen- oder flächenbezogene Volumenströme für die mechanische Lüftung empfohlen. Diese Empfehlungen orientieren sich aber an voll belegten Räumen. In der Praxis geht es meist um stark schwankende Nutzungssituationen, weshalb oft zu viel gelüftet wird. Immer wenn stärker als tatsächlich notwendig gelüftet wird, dann muss unnötig viel zuströmende (kalte) Außenluft erwärmt und ggf. ent- oder befeuchtet werden. Zudem empfinden viele die „Zugluft“ als unangenehm.

Es geht bei der Gebäudelüftung also darum, die Lufterneuerungsrate laufend an der konkreten Raumnutzungs- und Luftbelastungssituation zu orientieren. Bei einer sol-

Abb 2 Strategien zur bedarfsorientierten Lüftung

	Regelung / Steuerung	Kommentar
Fensterlüftung	von Hand durch Nutzer oder Bewohner	Fenster öffnen und schließen erfolgt subjektiv und ist fehleranfällig
Schachtlüftung	Ventilsteuerung (Zeitprogramm oder Soll-Volumenstrom)	Nur bedingt kann auf besondere Belastungen oder Ereignisse reagiert werden
Mechanische Lüftung / Klimaanlage	Steuerung Volumenstrom per Zeitprogramm oder Nutzereingriff	Keine Belastungsorientierung, Steuerung u. U. subjektiv und fehleranfällig
	Regelung Volumenstrom mit Feuchtesensor	Luftfeuchtigkeit als Maß für die Luftbelastung und als Führungsgröße nur wenig geeignet
	Regelung Volumenstrom mit CO ₂ -Sensor	CO ₂ als Maß für die Luftbelastung und als Führungsgröße nur bedingt geeignet, CO ₂ -Sensor relativ teuer
	Regelung Volumenstrom mit Mischgas-Sensor	Breitbandige Erfassung von „verbrauchter“ oder „belasteter“ Luft (Luftqualitätsmessung)

chermaßen am Bedarf orientierten Lüftung wird ein angenehmes und gesundes Raumklima möglichst energiesparend erreicht. Voraussetzung für bedarfsorientierte Lüftungssysteme sind regelbare Ventilatoren, Luftklappen, Luftfilter oder motorische

Fensterbeschläge.

Abb 2 zeigt die verschiedenen Lüftungskonzepte und deren Reaktionsmöglichkeiten auf sich verändernde Nutzungs- oder Belastungssituationen (Versammlung, Tabakrauch, Fete, Duschen etc.).

► Luftqualitätssensor

Metalloxid-Halbleiter eignen sich gut zur Herstellung kostengünstiger Gas-Sensoren. Schon in den 60er Jahren entdeckte man, dass sich der elektrische Widerstand beheizter Metalloxid-Schichten ändert, je nach Konzentration von oxidierbaren Substanzen (Gase, Dämpfe), die sich in deren Nähe befinden: Wenn die zu detektierenden Gase mit dem Luftsauerstoff reagieren, dann steigt mit abnehmender Sauerstoffkonzentration an der Metalloxid-Luft-Grenzschicht die Ladungsträgerkonzentration im Metalloxid-Halbleiter-Film und damit dessen elektrische Leitfähigkeit.

Schon bald konnten viele Gase sogar in sehr kleinen Konzentrationen erfasst werden. Doch die Messgenauigkeit blieb unbefriedigend: Großer Einfluss von Fertigungstoleranzen, mangelnde Reproduzierbarkeit der Messwerte sowie störende Querempfindlichkeiten durch Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur verhinderten zunächst einen breiten Einsatz dieser Sensoren zur exakten Luftqualitätsmessung.

In den letzten Jahren konnte die Metalloxid-Sensortechnik Schritt für Schritt weiterentwickelt werden. Heute steuern diese Sensoren in Automobilen der Luxusklasse die sog. Umluftklappe, so dass die Lüftung immer sofort auf Umluftbetrieb geschaltet wird, wenn die Außenluft schlechter als die Innenraumluft ist. Auch gibt es schon seit längerem für die Gebäudelüftung geeignete Mischgas-Sensoren, jedoch ist deren Messgenauigkeit für eine zuverlässige und genaue Luftqualitätsmessung nicht befriedigend. Daher wurden diese Sensoren oft in Kombination mit Feuchte-, Temperatur- und CO₂-

Abb 3 Charakteristische Angaben zum Sensorsystem im Projekt „LUQAS“

<p>Metalloxid-Sensor</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Einfach-Sensor aus Zinndioxid als Dickfilm auf Keramik-Substrat ■ Sensor mit Temperaturregelung per Platin-Heizelement in isothermischem Gehäuse mit integrierter Glasfilterkappe als Diffusionsabdeckung ■ Sensortemperaturen zwischen 300° und 400°C, Stabilisierung auf ± 0,1 K genau ■ Interaktives dynamisches Verfahren zur Ansteuerung des Sensors und zur Interpretation der resultierenden Signale, realisiert auf kompakter Platine mit integriertem Sensor ■ Breitbandige Messung, d. h. summarische Erfassung verschiedener Gase und Dämpfe in der Raumluft durch spezielle interaktive Sensorauswertung <p>Option: ausgeprägte Selektivität für bestimmte Gase</p> <p>Detektierbare Substanzen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Simultane Detektion oxidierbarer Gase (und Dämpfe), insbesondere VOC (volatile organic compounds - flüchtige, leicht oxidierbare organische Substanzen) <p>Konkret:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ausdünstungen von Möbeln, Bürogeräten und von im Raum Anwesenden ■ Viele Tabakrauchbestandteile, insbesondere Kohlenmonoxid (CO) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Essensgeruch ■ Kohlenwasserstoffe, Ammoniak, Alkohole, Benzole u. a. Lösungsmittel <p>Empfindlichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Konzentrationen von < 10 ppm bis 15.000 ppm können ohne Quereinflüsse und reproduzierbar detektiert werden <p>Messgenauigkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Nullpunktstabil und frei von Quereinflüssen ■ Integriertes Auswerteverfahren gleicht fertigungsbedingte Bauteiltoleranzen weitgehend aus (Fehler max. 3%) ■ Messwert unabhängig von der Lufttemperatur ■ Messwert weitgehend unabhängig von der Luftfeuchte (Fehler max. 5%) <p>Relativer Messfehler</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Angabe nicht möglich, da es sich um ein gewichtetes Summensignal handelt, das empirisch optimiert wurde <p>Ansprechzeit t₉₀</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ einstellbar, < 5 Sekunden möglich <p>Reproduzierbarkeit (relative Abweichung)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ < ±10%
--	--

Sensoren eingesetzt.

Bei der aktuellen Sensor-Generation der UST GmbH (s. Abb 1 und 3), die im Rahmen des Verbundprojekts weiterentwickelt und erprobt wurde, konnten die störenden Effekte mit Hilfe der interaktiven Auswertelektronik der ETR GmbH fast komplett ausgeblendet werden. Abb 4 zeigt den Sensor samt Regel- und Auswertelektronik auf einer kleinen Platine im Vorserienmaßstab. Das System kann im Raum oder im Abluftkanal eingebaut werden. Das Sensorsignal kann per Computer oder über eine analoge Anzeige ausgewertet werden. Mit diesem „breitbandigen“ Mischgas-Sensorsystem können Gebäudelüftungssysteme bedarfsorientiert geregelt werden. Denn nicht allein

eine Größe sondern verschiedene, die Qualität der Raumluft kennzeichnende Faktoren werden gemeinsam erfasst. Es reagiert auf Tabakrauch, Ausdünstungen von Menschen, Emissionen aus Teppichböden, Büromöbel oder Computern, Schadgase wie z. B. Kohlenmonoxid und vieles mehr.

Abb 4 Auswertelektronik mit integriertem Sensor zur Luftqualitätsmessung



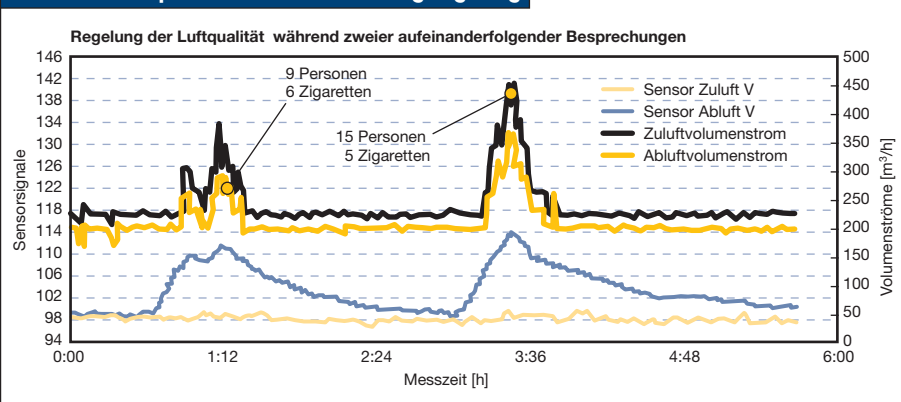
► Prototypen im Praxistest

Das Sensorsystem wurde im Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Universität Essen, unter Laborbedingungen getestet und in einem Hörsaal im normalen Vorlesungsbetrieb erprobt. Die Labormessungen zeigten, dass verschiedene Sensoren gut übereinstimmende und reproduzierbare Messwerte ergeben. Sie sind unabhängig von Temperaturänderungen und Luftströmungsgeschwindigkeiten. Allein die Luftfeuchtigkeit, d. h. der absolute Wassergehalt der Luft, beeinflusst das Signal geringfügig.

Test unter realen Bedingungen

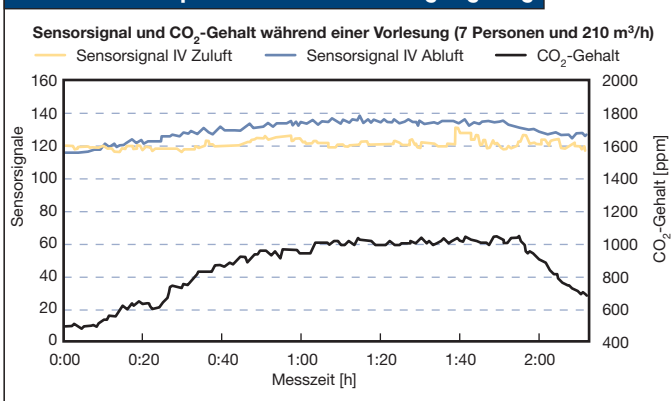
Das Raumströmungslabor der Universität Essen bietet zugleich Platz für Vorlesungen mit bis zu 20 Personen. Im Sommersemester 2000 wurde die Luftqualität im regulären Vorlesungsbetrieb mit dem neuen Sensorsystem laufend gemessen. Dazu wurde je ein Sensor in dem Zuluft- und Abluftkanal angebracht. Für die verschiedenen Vorlesungen wurden unterschiedliche konstante (personenbezogene) Außenluftvolumenströme eingestellt, um die Luftqualität bei unterschiedlichen Lüfterneuerungsraten messen zu können. **Abb 6** zeigt eine typische Messung während einer Vorlesung im Vergleich zum Signal eines im Raum platzierten CO₂-Sensors. Bei einer konstanten personenbezogenen Außenluftfrate von 30 m³/h zeigt der kontinuierliche Anstieg des Abluftsignals eine deutliche Verschlechterung der Luftqualität an. Zwar variiert auch die Zuluftqualität, jedoch sind die Emissionsquellen aufgrund der eindeutig wachsenden Differenz von Zuluft- und Abluftsignal im Hörsaal zu orten. Befragungen unter den Studierenden zeigten übrigens, dass die abnehmende Luftqualität von den Anwesenden nicht eindeutig wahrgenommen wurde. Dies bestätigt einmal mehr, dass die Luftqualität nur von Personen beurteilt werden kann, die gerade in einen Raum eintreten – denn der Geruchssinn gewöhnt sich an die jeweilige Situation. **Abb 5** zeigt eine vergleichbare Messung - jetzt mit einer an die

Abb 5: Luftqualitätsmessung in einem Hörsaal - mit luftqualitätsorientierter Lüftungsregelung



Luftqualitätssensoren angepassten Regelungsstrategie. Hierbei wurden die Außenluftklappe und der Luftvolumenstrom geregelt. Aus Energiespargründen wird immer dann auf Umluftbetrieb geschaltet, wenn die Luftqualität und Luftfeuchtigkeit dies zulässt. In **Abb 6** ist gut zu erkennen, dass die Luftqualität relativ konstant bleibt. Sie liegt durchgängig auf einem höherem

Abb 6: Luftqualitätsmessung in einem Hörsaal - ohne luftqualitätsorientierte Lüftungsregelung



Niveau als ohne luftqualitätsorientierte Regelungsstrategie.

► Luftqualität - eine subjektive Größe

Temperatur, Feuchte und Strömungsgeschwindigkeit waren lange Zeit die dominierenden Kriterien zur Auslegung und zum Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage. An Bedeutung gewonnen hat die Luftqualität, jedoch lässt sich diese nur schwer beurteilen. Zwar herrscht Übereinstimmung, dass die Luft in Gebäuden frisch und möglichst wenig Schadstoffe oder Ausdünstungen enthalten darf - sie sollte nicht abgestanden oder muffig riechen. Es zeigt sich aber, dass Menschen sehr unterschiedliche Ansprüche an die eingeatmete Luft haben. Sie reagieren individuell auf die erhöhte Kohlendioxid-Konzentration verbrauchter Luft oder auf die Ausdünstungen von Menschen (sog. Bioeffluenzen) und Mobiliar oder Bürotechnik (Lösungsmittel, Ozon etc.).

Aufgrund der vielfältigen Bestandteile belasteter oder muffiger Luft gibt es kein verlässliches, objektives Messverfahren zur Beurteilung der Raumluftqualität. Die Qualität wird in Befragungen ermittelt und kann als hoch eingestuft werden, wenn nur ein geringer Anteil (< 10%) der Anwesenden unzufrieden ist.

Die (empfundene) Luftqualität hängt nicht allein von der jeweiligen Belastungssituation im Raum ab. Mit der Lüftung wird die Raumluft permanent mit Frischluft verdünnt. Je stärker (natürlich oder kontrolliert, d. h. mechanisch) gelüftet wird, desto höher wird die Raumluftqualität durch Anwesenheit eingeschätzt - jedoch steigt zugleich der Aufwand für Ventilation und ggf. Luftbehandlung sowie im Winter der Heizenergiebedarf.

► Kosten - Nutzen

Der Energieaufwand für die Luftumwälzung sinkt bei kleineren Volumenströmen überproportional. Bei einer mittleren Reduktion des Luftvolumenstroms um nur 20% beträgt die Stromersparung für die Ventilation knapp 50%. Bei Gebäuden mit typischen Teilbelegungssituationen kann der Luftvolumenstrom sogar um ca. 40% reduziert und der Stromverbrauch für die Umwälzung sogar um knapp 80% reduziert werden.

Die bedarfsorientierte Lüftungsregelung

mit Mischgas-Sensoren ist zumeist wirtschaftlich ab einem Nennvolumenstrom von insgesamt 4.000 m³/h. In Gebäuden mit häufigen Teilbelegungssituationen, d. h.

hohem Einsparpotential an Ventilationsenergie, lohnt sich der Einsatz von Mischgas-Sensoren bereits ab 1.000 bis 2.000 m³/h.

Abb 7 Angaben zu Kosten und Nutzen

KOSTEN

kurzfristig: ca. 1.000 DM pro Sensoreinheit

langfristig (bei Stückzahlen > 100.000 p.a.): < 100 DM pro Sensoreinheit

Zum Vergleich

■ Marktpreis CO₂-Sensor: 500 bis 700 DM pro Sensoreinheit

■ Preis marktverfügbarer Mischgas-Sensoren: 350 bis 600 DM pro Sensoreinheit

NUTZENEFFEKTE

- Energieeinsparung (Strom) aufgrund reduzierter Ventilation - je nach Nutzungsprofil des Gebäudes
- Energieeinsparung (Wärme) aufgrund verringerter Lüftungswärmeverluste
- Ggf. Energieeinsparung Luftaufbereitung bei Klimaanlagen aufgrund reduzierter Volumenströme
- Durchgängig hohe Luftqualität ohne Zugluft-Effekt

► Fazit

Mit den Tests in diesem Forschungsprojekt konnte gezeigt werden, dass die Messsignale des weiterentwickelten Mischgas-Sensorsystems die Luftqualität in Gebäuden sehr gut abbilden. Sie eignen sich daher für eine luftqualitätsorientierte Regelungsstrategie in der Gebäudelüftung. Dazu werden vorhandene Regelungssysteme ohne großen Aufwand an die neue Sensortechnik angepasst. Einsetzbar ist das neue Sensorsystem in Wohn- und Zweckbauten, es eignet sich sowohl für zentrale Lüftungs- und Klimaanlageanlagen als auch für dezentrale, raumbegone Systeme oder Raumklimageräte.

Luftqualitätssensoren ermöglichen ein durchweg gutes Raumklima bei reduzierten Energiekosten. Der Stromverbrauch für die Ventilation kann mit luftqualitätsorientierten Regelungsstrategien je nach Raumbelegungs- und Nutzungssituation um 20 bis 60% reduziert werden. Hinzu kommen Energieeinspareffekte in den Bereichen Heizwärme und Luftaufbereitung. Dabei ist das neue Sensorsystem relativ kostengünstig. Dies liegt zum einen am eigentlichen Mischgas-Sensor. Für die integrierte Auswertelektronik werden die Kostendegressionseffekte bei großen Stückzahlen wirksam, so dass langfristig mit Kosten von unter 100 DM pro Sensoreinheit zu rechnen ist. Damit werden Luftqualitätssensoren für praktisch alle Räume und Lüftungsgeräte wie beispielweise Dunstabzugshauben attraktiv.

► Ausblick

In Kürze soll ein Feldtest beginnen: Bestehende Lüftungs- und Klimaanlageanlagen verschiedener Gebäude werden auf die luftqualitätsorientierte Regelstrategie umgerüstet und der Betrieb der modifizierten Anlagen wissenschaftlich begleitet. Im Bereich der Raumklimageräte ist schon in diesem Jahr mit kommerziell erhältlichen Produkten zu rechnen. Für Klima- und Lüftungsanlagen wird die entsprechende Sensor- und Regelungstechnik nach Abschluss des Feldtests - also in 2-3 Jahren - allgemein verfügbar sein.

► PROJEKTADRESSEN

Projektkoordination
IVAM NRW e.V.
Dr. Rolf Dahlbeck
Emil-Figge-Straße 76
44227 Dortmund

Projektleitung, Sensortechnik, elektronische Auswertverfahren, Sensorintegration
ETR Elektronik Technologie Rump GmbH
Andreas Blümke
Altwickeder Hellweg 195
44319 Dortmund

Sensortechnik, Sensorfertigung
UST Umweltsensortechnik GmbH
Dr. Olaf Kiesewetter
Dieselstraße 2
98716 Geschwenda

Integration in HLK-Technik, Feldtest
Krantz-TKT GmbH
Dr. Franc Sodec
Am Stadion 18-24
51465 Bergisch-Gladbach

Regelungsstrategie, Integration in HLK-Technik
EUREM GmbH
Dr. Gunther Bartholomäi
Hüttenstraße 7
52068 Aachen

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Dahlbeck, R. u. a. (IVAM NRW e.V.): Luftqualitätssensoren zur Regelung von raumlufttechnischen Anlagen. Abschlussbericht zum BMWi-Verbundprojekt. Erscheint im Mai 2001.

Ansprechpartner Verbundprojekt

- Dr. Rolf Dahlbeck, IVAM NRW e.V., Tel. 0231 / 9742-168, rd@ivamnwr.com

Service

- Eine Linkliste zum Thema ist bei BINE oder im Internet unter <http://bine.fiz-karlsruhe.de> abrufbar

PROJEKTORGANISATION

- **Förderung des Vorhabens**
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Villemombler Straße 76, 53123 Bonn
- **Projektbegleitung im Auftrag des BMWi**
Projektträger Biologie, Energie, Umwelt (BEO)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Jürgen Gehrmann
52425 Jülich
- **Förderkennzeichen**
0329795 A-E

IMPRESSUM

- **ISSN**
0937 – 8367
- **Herausgeber**
Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
- **Nachdruck**
Nachdruck des Textes nur zulässig bei
vollständiger Quellenangabe und gegen
Zusendung eines Belegexemplares;
Nachdruck der Abbildungen nur mit
Zustimmung der jeweils Berechtigten.
- **Redaktion**
Johannes Lang

BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- basisEnergie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf, wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen



Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstr. 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

eMail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: <http://www.bine.info>