

DIPLOMARBEIT

Elektronische Nasen im Kontext der Gebäudeperformance

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung
des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ardeshir Mahdavi

259/3

Abteilung für Bauphysik und Bauökologie
Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Gabriela Nowotny
Matrikelnummer: e8901202
Studienkennzahl: E057
Alszeile 9/3/3/12
1170 Wien

Wien, am

Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt
meinem Diplomarbeitsbetreuer
Ardeshir Mahdavi,
Georg Franck-Oberaspach,
Christian Kühn,
Susanne Wibiral
und
Hedwiga Nowotny.

Inhaltsverzeichnis

1. Basisinformation	13
1.1 Einführung	13
1.2 Motivation.....	13
1.2.1 Förderung des Einsatzes von Elektronischen Nasen	13
1.2.2 Entwicklung eines Suchinstruments.....	14
1.3 Definition einer Elektronischen Nase und deren Bestandteile	14
1.4 Historischer Hintergrund	16
1.5 Sensormaterial	20
1.5.1 Metalloxide	20
1.5.2 Leitende Polymere	21
1.5.3 Schwingquarze.....	22
1.5.4 Oberflächenwellenleiter	22
1.5.5 LAPS.....	22
2. Vorgangsweise und Methodik der Informationsabfrage	23
2.1 Grundlagenrecherche in Literaturdatenbanken	23
2.2 Bestehende olfaktorische Datenbanken	23
2.2.1 SuperScent.....	24
2.2.2 Flavornet.....	24
2.3 Selbst entwickeltes Suchinstrument.....	25

3. Resultate	27
3.1 Aufbau und Funktionalität des selbst entwickelten Suchinstruments	27
3.1.1 Datenbank-"design"	27
3.1.2 Funktionsweise der Datenbank	31
3.1.2.1 Einteilung der Datensätze in "cluster"	31
3.1.2.2 Abfragen im selbsterstellten Suchinstrument	36
3.2 Hauptanwendungsgebiete von Elektronischen Nasen	45
3.2.1 Analysen bzw. Produktionskontrollen von Lebensmitteln und Getränken	45
3.2.1.1 Klassifikation von Schwarztee	46
3.2.1.2 Detektion von Salmonella Kontamination	48
3.2.1.3 Milchuntersuchung in Bezug auf Fremdhefen	49
3.2.2 Medizinische Diagnosen	49
3.2.2.1 Diagnose von Lungenkrebs	49
3.2.2.2 Detektion von Krankheitserregern im Blut	50
3.2.3 Raumfahrtforschung	51
3.2.4 Robotik	52
3.2.5 Maßnahmen zur Sicherheit	55
3.2.5.1 Zivilschutz und Militäreinsatz	55
3.2.5.2 Detektion von Gas, Rauchentwicklung und Feuer	56
3.3 Einsatz von Elektronischen Nasen in der Architektur bzw. im Bausektor .	56
3.3.1 Innenraumluftqualitätsbestimmungen und –messungen	56
3.3.1.1 Beurteilung der Komfortqualität von Innenluft mittels Elektronischer Nasen	61
3.3.1.2 Monitoring der VOC-Konzentrationen von Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol mittels Elektronischer Nasen	63

3.3.1.3 Schimmelpilz- ("moulds"-, "fungus"- / "fungi"-) Detektion in Innenräumen unter Einsatz von Elektronischen Nasen.....	65
3.3.1.4 Monitoring von Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffdioxid durch Anwendung von Elektronischen Nasen	66
3.3.2 Detektion der Emissionen von Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen mittels Elektronischer Nasen.....	67
3.4 Einsatz von Elektronischen Nasen in Multimedia-Applikationen	69
3.5 Biomimetische bzw. biologische Elektronische Nasen.....	69
4. Diskussion	70
4.1 Einsatz von Elektronischen Nasen auf lokaler Ebene.....	70
4.1.1 Produktkontrolle	70
4.1.2 "Digitaler Geruch"	71
4.1.3 Kombination mit "smoke detection"-Einrichtungen.....	71
4.1.4 Gasleitungsbruch-Detektion	71
4.1.5 Robotik zwecks Unterstützung im Alter	71
4.2 Einsatz von Elektronischen Nasen auf globaler Ebene	72
4.3 Positive Wirkung von Gerüchen im Bereich "building science"	72
5. Schlussfolgerung	74
5.1 Mehrwert der vorliegenden Arbeit.....	74
5.2 Zukünftige Entwicklungen	74
6. Literaturverzeichnis	75

Verwendete Abkürzungen	80
Schlüsselbegriffe	82
Anhang I	83
Anhang II	86
Anhang III	87

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Blockdiagramm einer E-Nase (Cociorva 2008, p. 2).	14
Abb. 2: Schematische Darstellung eines automatisierten Geruchsklassifikations- systems (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 42).	15
Abb. 3: Modell der Transduktion von olfaktorischen Signalen (Pearce 1997a, p. 49).	18
Abb. 4: "screenshot", Datensatz "ID" 107 (E-Nase-db 2009, Access 2007).	26
Abb. 5: "screenshot", Objekt Tabellen, Entwurfsansicht, Tabellenbezeichnung: "t_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).	28
Abb. 6: "screenshot", Objekt Formulare, Formularbezeichnung: "f_e-nose- source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).	31
Abb. 7: "screenshot", "drop-down"-Liste in dem Feld "source-assignment-2", Formularbezeichnung: "f_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).	34
Abb. 8: "screenshot", "drop-down"-Liste in dem Feld "source-assignment-3", Formularbezeichnung: "f_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).	35
Abb. 9: "screenshot", Auswahl der Funktionen "Textfilter" und "Enthält" in Bezug auf das Feld "author_s" (E-Nase-db 2009, Access 2007).	37
Abb. 10: "screenshot", Eingabe des Schlüsselbegriffes "Pearce" im Feld "author_s" im Rahmen der Abfrage (E-Nase-db 2009, Access 2007). ..	38
Abb. 11: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "Pearce" im Feld "author_s", Beispiel 1 (E-Nase-db 2009, Access 2007).	39
Abb. 12: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "Pearce" im Feld "author_s", Beispiel 2 (E-Nase-db 2009, Access 2007).	40

Abb. 13: "screenshot", Auswahl der Funktionen "Textfilter" und "Enthält" in Bezug auf das Feld "title" (E-Nase-db 2009, Access 2007).	41
Abb. 14: "screenshot", Eingabe des Schlüsselbegriffes "electronic nose" im Feld "title" im Rahmen der Abfrage (E-Nase-db 2009, Access 2007).	42
Abb. 15: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "electronic nose" im Feld "title", Beispiel 1 (E-Nase-db 2009, Access 2007).	43
Abb. 16: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "electronic nose" im Feld "title", Beispiel 2 (E-Nase-db 2009, Access 2007).	44
Abb. 17: Verlauf der Analyse von Schwarztee (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1316).....	47
Abb. 18: "Pippi" Roboter "platform" mit Cyranose 320 Elektronischer Nase (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43).	53
Abb. 19: "Pippi" eine Geruchsquelle lokalisierend (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43)	54
Abb. 20: Sprengstoffdetektion mittels Elektronischer Nasen auf der Basis von "conducting polymers" (Chang & Subramanian 2008, p. 52).	55
Abb. Anhang I-1: Status quo von Elektronischen Nasen im Jahr 1997 (Pearce 1997b, p. 73).	84
Abb. Anhang I-2: Status quo von Elektronischen Nasen im Jahr 1997 (Fortsetzung) (Pearce 1997b, p. 74).....	85
Abb. Anhang III-1: "screenshot", "record" "ID" 1 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	88
Abb. Anhang III-2: "screenshot", "record" "ID" 3 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	89

Abb. Anhang III-3: "screenshot", "record" "ID" 10 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	90
Abb. Anhang III-4: "screenshot", "record" "ID" 17 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	91
Abb. Anhang III-5: "screenshot", "record" "ID" 18 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	92
Abb. Anhang III-6: "screenshot", "record" "ID" 19 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	93
Abb. Anhang III-7: "screenshot", "record" "ID" 21 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	94
Abb. Anhang III-8: "screenshot", "record" "ID" 24 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	95
Abb. Anhang III-9: "screenshot", "record" "ID" 31 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	96
Abb. Anhang III-10: "screenshot", "record" "ID" 32 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	97
Abb. Anhang III-11: "screenshot", "record" "ID" 38 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	98
Abb. Anhang III-12: "screenshot", "record" "ID" 45 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	99

Abb. Anhang III-13: "screenshot", "record" "ID" 52 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	100
Abb. Anhang III-14: "screenshot", "record" "ID" 55 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	101
Abb. Anhang III-15: "screenshot", "record" "ID" 62 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	102
Abb. Anhang III-16: "screenshot", "record" "ID" 76 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	103
Abb. Anhang III-17: "screenshot", "record" "ID" 91 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	104
Abb. Anhang III-18: "screenshot", "record" "ID" 106 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	105
Abb. Anhang III-19: "screenshot", "record" "ID" 107 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	106
Abb. Anhang III-20: "screenshot", "record" "ID" 109 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	107
Abb. Anhang III-21: "screenshot", "record" "ID" 139 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	108
Abb. Anhang III-22: "screenshot", "record" "ID" 158 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	109

Abb. Anhang III-23: "screenshot", "record" "ID" 166 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	110
Abb. Anhang III-24: "screenshot", "record" "ID" 192 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).	111

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Feldnamen bzw. Felder ("fields") (E-Nase-db 2009).	27
Tab. 2: Inhaltsbeschreibung der "fields" (E-Nase-db 2009).	29
Tab. 3: "drop-down"-Liste (E-Nase-db 2009).	32
Tab. 4: "indoor environmental quality indicators" (Vilčeková & Burdová 2008, p. 3), formal adaptierte Fassung.	59
Tab. 5: Musterklassen ("pattern classes") (Cociorva 2008).....	62

1. Basisinformation

1.1 Einführung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem aktuellen Stand der Forschung von Elektronischen Nasen (E-Nasen), welche eine funktionelle Trinität aus einem Multigassensorsystem, einer Datenakquirierungs- und einer Mustererkennungseinheit bilden. Die häufigsten Einsatzgebiete von derart artifiziellen Nasen, die als bionischer Ansatz zu werten sind, werden im Rahmen dieser Arbeit in ihren Grundzügen aufgezeigt. Ein besonderes Augenmerk gilt den bestehenden und potenziellen Nutzungsmöglichkeiten im Kontext der Gebäudeperformance. Aktuelle und künftige Anwendungsfelder von E-Nasen im Architektur-, Ingenieur- und Konstruktions- / Facility-Management- (AEC- / FM-) Bereich sollen verstärkt publik gemacht werden, um folglich deren industrielle Umsetzung und Nutzung zu forcieren.

1.2 Motivation

1.2.1 Förderung des Einsatzes von Elektronischen Nasen

Durch die Bewusstmachung des Potentials und der Vorteile des Einsatzes automatisierter Geruchs- und Gassensorsysteme kann die gegenwärtige und zukünftige Architektur positiv beeinflusst werden, in welcher Art und Weise, wird in der vorliegenden Arbeit behandelt. Antizipiert wird, dass Stakeholder des AEC- / FM-Bereiches (z.B. Architekten, Ingenieure, Facility-Manager, Klienten, Investoren, Benutzer), deren Aufmerksamkeit erstmals oder erneut auf das ungenutzte Potential von Multigassensor-"arrays" kombiniert mit einer rechnergestützten Auswertungseinheit gelenkt wird, diese künstlichen Geruchsorgane im Hinblick auf eine verbesserte Gebäudeperformance in erhöhtem Maße in ihre Planung und deren Umsetzung integrieren werden.

1.2.2 Entwicklung eines Suchinstruments

Auf der Basis eines selbst entwickelten Suchinstruments (E-Nase-db 2009) wird das eruierte Datenmaterial zur Thematik E-Nase organisiert, die Datensätze können mittels "cluster"-Zuordnung übersichtlich vorsortiert und effizient ausgewertet werden. Bedingt durch die themenspezifische Einteilung der Datensätze der selbst erstellten Datenbank in Untergruppen wird rasch ersichtlich, welche Anwendungen von "automatic sniffer" es bereits im Bausektor bzw. in anderen Bereichen gibt. Die Übergänge sind jedoch, so zielführend und sinnvoll die "cluster"-Einteilung im Suchinstrument zu werten ist, in der Realität fließend. Dieser Aspekt verdeutlicht, dass sich eine konkrete Übertragung der Inhalte automatisierter Geruchs- und Gassensorsysteme aus anderen Fachbereichen in den Bausektor bzw. eine Gewichtsverlagerung Richtung "building science" anbietet.

1.3 Definition einer Elektronischen Nase und deren Bestandteile

Eine Elektronische Nase besteht aus

- i) einem Multigassensor-"device" bzw. Multigassensor-"array",
- ii) einem Datenakquisitionssystem ("data acquisition system") und
- iii) einer Mustererkennungseinheit ("pattern recognition unit").

Die folgende Abbildung 1 stellt den Aufbau einer E-Nase in Form eines Blockdiagramms dar.

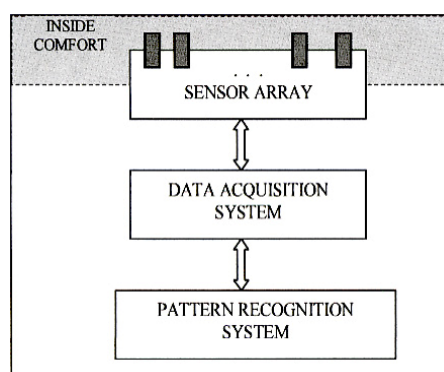


Abb. 1: Blockdiagramm einer E-Nase (Cociorva 2008, p. 2).

Das funktionelle Zusammenspiel ("interplay") der genannten Komponenten, die wechselwirkend ineinander greifen, ergibt die emergenten Eigenschaften der E-Nase, welche der Substanz- bzw. Geruchsdetektion und deren Datenauswertung und Interpretation dienen.

Zwecks Beurteilung der eruierten Daten kommen in diesem Zusammenhang rechnergestützte Methoden zu teilweise kombinierter Anwendung. Relevante Beispiele für statistische Verfahren bzw. Einsatz von "artificial intelligence" sind in der folgenden Aufstellung genannt:

- i) "Principal Component Analysis" (PCA),
- ii) "Artificial Neural Networks" (ANN) und
- iii) "Support Vector Machines" (SVM).

Eine weitere schematische Darstellung, in Abbildung 2 ersichtlich, zeigt den simplifizierten Ablaufplan von künstlichen Geruchsorganen, beginnend beim Sensor-"array"- "device", über den die "sensor inputs" erfolgen, bis zur abschließenden de facto Geruchsklassifikation.

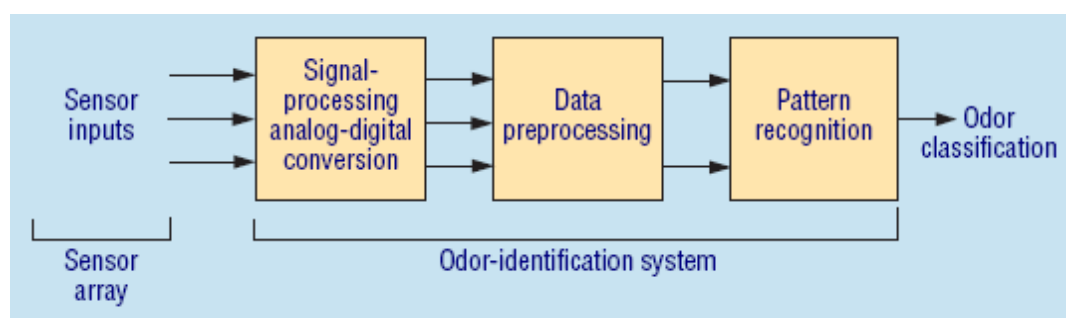


Abb. 2: Schematische Darstellung eines automatisierten Geruchsklassifikationssystems (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 42).

Die Funktionalität einer E-Nase wird in einer vorliegenden Arbeit wie folgt zusammengefasst. "The signals are obtained by measuring the change in the sensor's electrical properties upon exposure to a gas. Next, the system converts these signals to digital form, reduces data complexity in the preprocessing stage, and then employs pattern recognition to classify the odor." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 42)

Der Übergang von einem konventiellen Sensorsystem zu einem, das man als Elektronische Nase bezeichnen sollte, ist de facto nicht exakt festzulegen, sondern vielmehr graduell einzustufen. Je kleiner bzw. Chip-förmiger sich diese Sensorsysteme gestalten, je portabler bzw. Robotik-orientierter sich diese Sensor-Units präsentieren und je mehr "real-world"-Probleme sie, in Kombination mit ihrer Datenverarbeitungseinheit und ihrer Mustererkennungskomponente bewältigen können, und durch "multi tasking" in ihrer Funktionalität zunehmend einem biologischen System gleichkommen, desto sinnvoller erscheint es, diese Tripel-Entitäten tatsächlich als Elektronische Nasen auszuweisen.

1.4 Historischer Hintergrund

In den letzten drei Jahrzehnten kann eine rasche Ausbreitung von E-Nasen beobachtet werden. Eine umfassende Arbeit über die Geschichte der Detektion von Geruchsempfindungen und ihrer analogen Entsprechung im elektronischen Bereich wurde bereits 1997 publiziert. Der erste Teil (Pearce 1997a) handelt von biologischer Geruchswahrnehmung, der Zweite (Pearce 1997b) von Sensor-basierten Geräten zur Geruchsmessung.

Bereits zum damaligen Zeitpunkt war ersichtlich, dass das ursprüngliche Forschungsprogramm, welches die Entwicklung eines komparativen Modells zu den biologischen Geruchsempfindungen zum Ziel hatte, zu einem Versuch degeneriert war, ein ad hoc brauchbares System zu erhalten, basierend auf bereits vorhandenen Sensor- und Mustererkennungstechnologien. Das erste Modell eines E-Nasen-Systems spiegelt somit das begrenzte Verständnis für

Sensorinformationsprozesse, die bei biologischer Geruchswahrnehmung ablaufen, wieder.

Damals sah der Verfasser erstmals die Möglichkeit, den Aufbau einer E-Nase im Hinblick auf die neuesten Fortschritte im Verständnis der Schlüsselvorgänge, die durch "olfactory bulb" und "cortex" in der Identifikation und Charakterisierung von molekularen Stimuli ablaufen, zu bewerten (Pearce 1997a).

Im ersten Teil der Publikation werden die zur damaligen Zeit raschen Entwicklungen im Verständnis der Informationsprozesse, die das biologische Geruchssystem ermöglichen, kritisch beleuchtet. Ein kurzer Auszug daraus beschreibt die biologische Funktionalität wie folgt. "In humans, the olfactory system consists of three main sub-systems: the olfactory mucosa with its own associated odour delivery system, the main olfactory bulb (MOB), and olfactory cortex (OC)." (Pearce 1997a, p. 44)

Ein Modell der Transduktion olfaktorischer Signale wurde bereits in der damaligen Arbeit vorgeschlagen und wird in Abbildung 3 veranschaulicht (Pearce 1997a). Die folgende Darstellung (Abb. 3) wurde adaptiert von einer Abbildung von Burchell (1991) und Chastrette und Zakarya (1991) und ihr Inhalt wird wie folgt beschrieben. "Odorants (OD) in the air are mostly lipid soluble, enter the mucous flow and reach the neuroepithelial cilia. Odorant interaction with a receptor (R) stimulates adenylate cyclase (AC) by interaction with G proteins (G_{OLF}) to produce cAMP which binds with the cation channel and promotes neural signalling." (Pearce 1997a, p. 49)

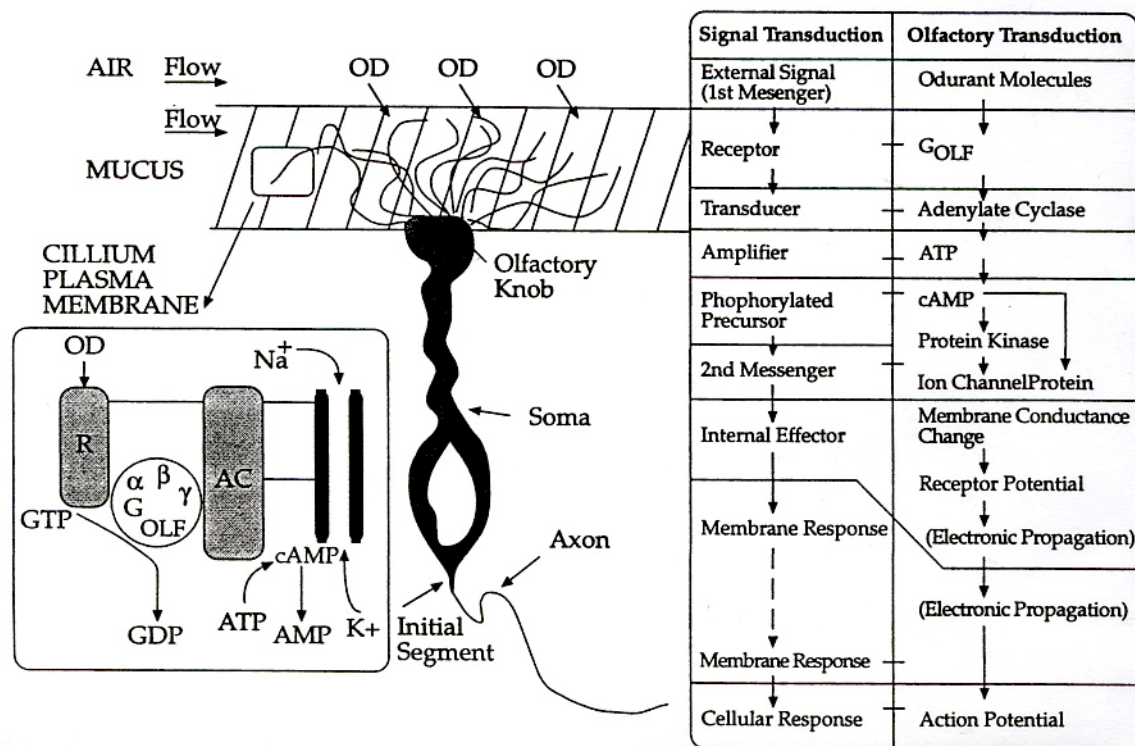


Abb. 3: Modell der Transduktion von olfaktorischen Signalen (Pearce 1997a, p. 49).

Im zweiten Teil der Publikation (Pearce 1997b) werden die existierenden Parallelen zwischen dem biologischen Geruchssystem und den E-Nasen untersucht. Es wird gezeigt, dass die beiden Systeme viele Gemeinsamkeiten in ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften haben, wie z.B.

- i) "odor delivery",
- ii) nicht-spezifische Sensor- / Rezeptor-Antwort,
- iii) Sensor- / Rezeptor-"preprocessing" und
- iv) "content addressable memory" (CAM) (Pearce 1997b).

Eine der frühesten Studien, ausgeführt durch Tanyolac (1950), behandelt die Messungen der Veränderungen in der Oberflächenspannung als Folge der Adsorption von einem Geruchsstoff. Mit dem Aufkommen von Halbleitertechnologien, "semiconductor chemical sensors", waren neue Möglichkeiten für die Entwicklung von Elektronischen Nasen bereits 1953 gegeben. Fortschritte auf dem Gebiet automatisierter Geruchs- und

Gassensorsysteme sind in zwei Zitaten der historischen Abhandlung wie folgt beschrieben:

- i) "... one of the first artificial olfactory systems was produced by Wilkens and Hartman (1964), although this was limited in performance. The system relied upon the electrochemical effects of odorants at a number of electrodes." (Pearce 1997b, p. 70);
- ii) "A seminal work by Deutsch (1967), providing a formal framework for information processing in the olfactory pathway, laid the foundations for a generic "model nose" and the concept of partial specificity of sensor response for odour discrimination." (Pearce 1997b, p. 70)

Im Rahmen einer Arbeit von Persaud und Dodd im Jahr 1982 wurde das erste bekannte Model einer E-Nase, den heutigen etablierten Elektronischen Nasen in ihrer Entwicklungsstufe entschieden näher kommend, konzipiert. Es basierte auf einem kleinen chemoelektrischen Sensor-"array" und umfasste drei chemisch aktive Sensoren (Pearce 1997b).

Der Begriff "electronic nose" wurde in den späten 80er Jahren des 20. Jahrhunderts eingeführt und wurde von Gardner und Bartlett 1994 folgendermaßen definiert: "... an instrument, which comprises of an array of electronic-chemical sensors with partial specificity and an appropriate pattern recognition system, capable of recognising simple or complex odours." (Pearce 1997b, p. 70) Abgeleitet von dieser Definition war es möglich die generische Architektur einer Elektronischen Nase zu beschreiben. Sie umfaßt

- i) ein "odour delivery" bzw. "sampling system",
- ii) einen "array" von chemisch "sensitive sensors",
- iii) eine Entität für "signal preparation" in Form von "sensor and array processors",
- iv) einen "pattern recognition" (PARC) "engine" und
- v) einige Formen von Geruchspräsentations-Schemata (Pearce 1997b).

Ein ausführlicher Vergleich von Forschergruppen, Sensoren und Mustererkennungsmethoden der verschiedenen entwickelten E-Nasen (Pearce 1997b) ist im Anhang I zu sehen, den status quo von 1997 repräsentierend.

1.5 Sensormaterial

"Multigassensensorsysteme können mit verschiedenen Typen von Gassensoren realisiert werden, die sich in der Art der Detektion und der Messgröße unterscheiden." (Müller et al. 2008a, p. 38)

Als Sensoren, in den kommerziell erwerbbaaren Systemen, werden hauptsächlich:

- i) Metalloxide,
- ii) organische leitende Polymere,
- iii) Schwingquarze und
- iv) Oberflächenwellenleiter

verwendet (Müller et al. 2008a).

In diesem Zusammenhang soll auch ein weiterer mittlerweile zum Einsatz kommender Sensor mit der Bezeichnung LAPS ("light-addressable potentiometric sensor") nicht unerwähnt bleiben (Liu et al. 2006).

Die Funktionalität der einzelnen Materialien der genannten Sensoren und ihr spezifischer, gezielter Einsatz wird in den folgenden Zitaten (Müller et al. 2008a, Liu et al. 2006) beschrieben.

1.5.1 Metalloxide

"Metalloxidsensoren werden neben dem am häufigsten eingesetzten Zinnoxid (SnO_2) auch aus anderen Metalloxiden, wie ZnO , Fe_2O_3 und WO_3 , hergestellt. Bei diesen Sensoren wird der elektrische Widerstand des Sensors gemessen. Er dient als Maß für die an der Sensoroberfläche

angelagerten Substanzen. Metalloxidsensoren arbeiten nur in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre. Der Sauerstoff lagert sich an der Oberfläche der Sensoren an und nimmt Elektronen aus dem Leitungsband der Metalloxide auf. Dies führt zu einer Erhöhung des elektrischen Widerstands des Sensors. Zwischen den an der Oberfläche adsorbierten Sauerstoffspezies (O^- , O^{2-} , O_2^- , OH) stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht ein. Strömt nun die Probenluft mit flüchtigen Substanzen über die Sensoroberfläche, so stellt sich ein anderes Gleichgewicht ein. Der Widerstand des Sensors verändert sich. Für einen weiten Konzentrationsbereich besteht zwischen der Konzentration einer flüchtigen Substanz in der Probenluft und dem elektrischen Widerstand des Metalloxidsensors ein potentieller Zusammenhang. Die unterschiedliche Sensitivität und Selektivität der Sensoren wird durch Zufügen von verschiedenen Katalysatormaterialien (Platin und Palladium) in unterschiedlichen Konzentrationen zu dem Metalloxid erreicht. Die Leitfähigkeit der Sensoren kann auch durch die Höhe der Temperatur beeinflusst werden, auf welche die Sensoren durch einen Heizdraht erhitzt werden. Je nach Metalloxid des Sensors liegen die optimalen Betriebstemperaturen bei 200 bis 500°C. Es ist auch zu beachten, dass die Messwerte der Sensoren abhängig von der Luftfeuchte sind. Diese Abhängigkeit ist bei den Metalloxidsensoren aber im Vergleich zu anderen Sensortypen wie Schwingquarzsensoren und leitende Polymere, geringer." (Müller et al. 2008a, p. 38)

1.5.2 Leitende Polymere

"Leitende Polymere sind wie die Metalloxidsensoren chemoresistive Sensoren, bei denen der elektrische Widerstand als Messgröße dient, wenn chemische Substanzen an der Oberfläche adsorbiert oder desorbiert werden. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Empfindlichkeit und Selektivität relativ einfach verändert und an die Messaufgaben angepasst werden kann, durch Dotieren, Einbau von Katalysatoren oder nichtleitende Polymere in die Polymermatrix und durch Veränderungen der Kettenstruktur durch Seitenketten. Diese Flexibilität und Veränderbarkeit heben die Polymere als Material für Gassensoren besonders hervor. Der

Vorteil gegenüber Metalloxidsensoren liegt bei diesen Sensoren darin, dass die Detektion der Substanzen nicht auf oxidierbare Substanzen beschränkt ist und dass die Sensoren nahezu bei Raumtemperatur betrieben werden und dadurch weniger Energie benötigen. Bisher haben sie jedoch den Nachteil einer mangelhaften Langzeitstabilität und einer starken Abhängigkeit von der Luftfeuchte." (Müller et al. 2008a, pp. 38-39)

1.5.3 Schwingquarze

"Schwingquarzsensoren (BAW - Bulk Acoustic Wave oder QMC - Quartz Micro Balance) sind massensensitive Sensoren. Bei ihnen dient die Schwingfrequenz als elektrische Messgröße. Piezoelektrische Materialien, die Quarze, besitzen die Eigenschaft, dass sie elektrische Energie in mechanische Energie transformieren und umgekehrt." (Müller et al. 2008a, p. 39)

1.5.4 Oberflächenwellenleiter

"Oberflächenwellenleiter (SAW - Surface Acoustic Wave) sind wie Schwingquarzsensoren massensensitiv und es wird bei diesen Sensoren ebenfalls eine Frequenzänderung detektiert. Diese Sensortypen arbeiten mit akustischen Oberflächenwellen ...". (Müller et al. 2008a, p. 39)

1.5.5 LAPS

LAPS ("light-addressable potentiometric sensor") bestehen aus einer "electrolyte-insulator [SiO_2]-semiconductor [Si] (EIS) structure". (Liu et al. 2006, p. 320) Sie werden als Hybrid-System gemeinsam mit olfaktorischen Neuronen eingesetzt (Liu et al. 2006).

2. Vorgangsweise und Methodik der Informationsabfrage

2.1 Grundlagenrecherche in Literaturdatenbanken

Zwecks Beschaffung der entsprechenden Inhalte zur Thematik automatische Geruchsdetektion dienten existierende Datenbanken wie z.B.

- i) RSWB (Raumordnung, Städtebau, Wohnungswesen, Bauwesen) (IRB-db 2009),
- ii) ICONDA (International Construction Database) (IRB-db 2009),
- iii) FIZ-Technik (u.a. TEMA (Technik und Management)) (FIZ-Technik 2009) und
- iv) IEEE Xplore / Electronic Library Online (IEL) (IEEE-Xplore 2009).

Das mittels "queries" eruierte Datenmaterial wurde, wenn auch in der Folge teilweise modifiziert und in veränderter Form, in die Literaturdatenbank (E-Nase-db 2009) integriert bzw. bildete den Ausgangspunkt um durch erworbene Hinweise auf u.a. E-Nasen-relevante Sensoren und Forschergruppen in gängigen Suchmaschinen wie z.B. Google (Google 2009) weitere Kontext-spezifische Informationen zu akquirieren.

Der Volltextzugang zu den Publikationen war aufgrund der Lizenzierung der Technischen Universität Wien bzw. der Universität Wien für die genannten Datenbanken verfügbar.

2.2 Bestehende olfaktorische Datenbanken

Eine andere Form von Datenbanken-"content", welcher "target"-Substanzen von E-Nasen behandelt, und damit für die Beschäftigung mit der Thematik automatisierter Geruchsdetektion gleichermaßen eine entscheidende Rolle spielt, ist ebenso online über das WWW, seitens der Verfasser bzw. Betreiber der Datenbanken, bereitgestellt. In der Folge werden zwei "databases"

behandelt, SuperScent (Dunkel et al. 2008) und Flavornet (Acree & Arn 2004), die umfassende Sammlungen beinhalten über u.a. VOCs, Gerüche, Düfte und Aromen.

2.2.1 SuperScent

SuperScent (Dunkel et al. 2008) stellt exemplarisch eine Datenbank dar, deren Inhalt Detailinformationen über Aromen und Düfte ("flavors and scents") ausmacht. Die aktuelle Version der Datenbank (SuperScent Charite 2008) umfaßt 2D- und 3D-Strukturen von ca. 2100 flüchtigen Verbindungen ("volatiles") und ungefähr 9200 diesbezügliche Synonyme. Informationen über die physikochemischen Eigenschaften der "volatiles", ihre kommerzielle Verfügbarkeit und Literatur- bzw. Quellennachweise zu "flavors and scents" stehen durch SuperScent zur Verfügung. Die Motivation zur Einrichtung dieser Datenbank war, eine öffentlich zugängliche Informationssammlung zum Thema "scents" bereitzustellen.

2.2.2 Flavornet

Flavornet (Acree & Arn 2004) stellt eine Datensammlung von Aromen dar, die im menschlichen Geruchsraum ("human odor space") vorkommen. Die ablaufenden chemisch-biologischen Vorgänge werden in diesem Zusammenhang wie folgt beschrieben. "A seemingly infinite number of perceptions are invoked by less than 1000 odorants that make up this space. These chemicals with mass less than 300 Daltons bind to proteins on the olfactory receptor neurons (ORNs) at the surface of the olfactory epithelium. Excitation of ORNs generates a topographic map of sensory information in the brain that is a representation of the stimulating chemical features of the external world." (Acree & Arn 2004, "webpage") Flavornet listet ausschließlich jene Duftstoffe auf, die im "human odor space" zu "supra-threshold levels" vorkommen, d.h. jene, die ORN stimulieren können. Hunderte von Duftstoffen sind in dieser Sammlung abrufbar. "There are 738 odorants listed as of 6.25.04." (Acree & Arn 2004, "webpage")

2.3 Selbst entwickeltes Suchinstrument

Das Ergebnis der Informationsabfrage zum Thema Elektronische Nasen wurde, aufgrund der Fülle der ausfindig gemachten Publikationen und sonstigen Informationsquellen, nicht in Listenform, sondern in einer einfach aufgebauten Access-Datenbank (Access 2000) zusammengestellt.

Diese "database" kann jedoch nicht als offizielles, unabhängiges Informationssystem zu dieser Thematik gewertet werden, die Inhalte wurden aus u.a. bestehenden bereits beschriebenen Datenbanken wie z.B. IEEE Xplore / Electronic Library Online (IEL) (IEEE-Xplore 2009) aufgebaut. Das selbst erstellte Suchinstrument dient ausschließlich der Erarbeitung der Inhalte zum Thema "artificial olfaction systems", dem jeweiligen "copy right" der Verfasser und Anbieter wird zu jedem Zeitpunkt entsprochen.

Das Bildschirmfoto der Abbildung 4 zeigt als Einführung die Formularansicht eines Datensatzes im selbst erstellten Suchinstrument (E-Nase-db 2009), ein Datensatz enthält die deskriptive Kurzinformation zu der gewählten Veröffentlichung.

Anhand des nachfolgenden "screenshots" (Abb. 4) ist exemplarisch auch eine wesentliche Funktionalität der selbst erstellten Datenbank (E-Nase-db 2009) charakterisiert, welche es erlaubt, über das Feld "link-fulltext" via Hyperlink die zugehörige Publikation, wenn bereitgestellt und verknüpft, zu öffnen, um damit unmittelbar einen direkten Zugriff auf den Volltext nehmen zu können. Ein Ausschnitt der, zu dem gezeigten Datensatz zugehörigen, Publikation ist in der folgenden Abbildung ebenso sichtbar.

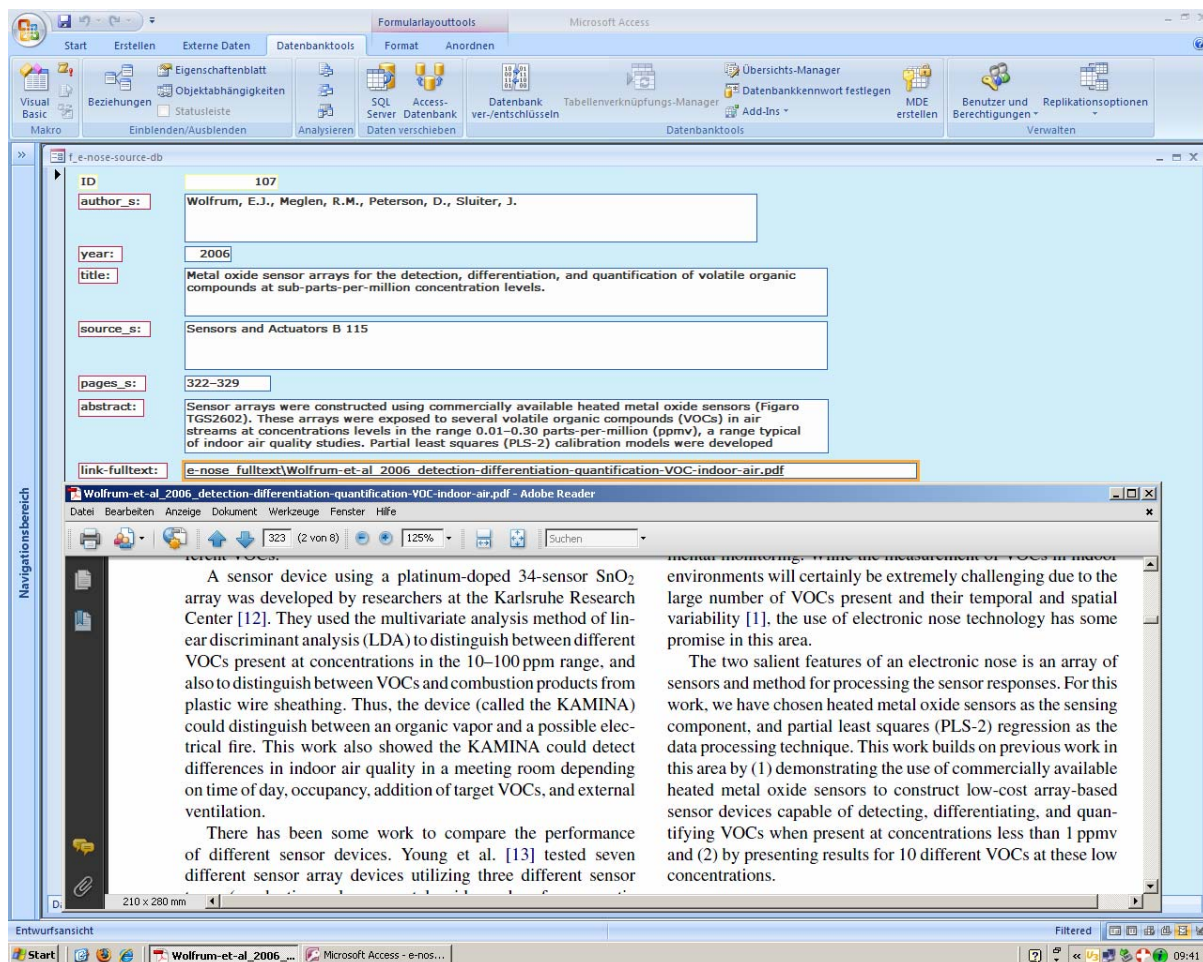


Abb. 4: "screenshot", Datensatz "ID" 107 (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Eine genaue Beschreibung des Aufbaus des selbst erstellten Suchinstruments (E-Nase-db 2009) folgt in Punkt 3.1.

3. Resultate

3.1 Aufbau und Funktionalität des selbst entwickelten Suchinstruments

3.1.1 Datenbank-"design"

Der zugrunde liegende Tabellenentwurf (E-Nase-db 2009) der selbst aufgebauten Literaturdatenbank, in folgender Tabelle 1 veranschaulicht, enthält 14 verschiedene Feldnamen, die jeweils einem Datensatz ("record") zugeordnet sind. Feldnamen und Felddatentyp, in englischer Sprache, sind in der genannten Tabelle (Tab. 1) ebenso angeführt wie ihre deutsche Bedeutung.

Tab. 1: Feldnamen bzw. Felder ("fields") (E-Nase-db 2009).

Nr.	Feldnamen	Felddatentyp	deutsche Bezeichnung
1-f	ID	AutoWert	Identifikationsnummer (mit Primärschlüssel versehen)
2-f	author_s	Memo	Autor, Autoren
3-f	year	Zahl	Jahr
4-f	title	Memo	Titel
5-f	source_s	Memo	Informationsquelle(n)
6-f	page_s	Text	Seiten bzw. Seitenbereich
7-f	abstract	Memo	Kurzzusammenfassung
8-f	link-fulltext	Hyperlink	Link zu Volltext
9-f	link-www	Hyperlink	Link zum WWW (World Wide Web)
10-f	source-assignment-1	Text	inhaltliche Zuordnung bzw. Kategorisierung
11-f	source-assignment-2	Text	inhaltliche Zuordnung bzw. Kategorisierung

Fortsetzung Tab. 1

12-f	source-assignment-3	Text	inhaltliche Zuordnung bzw. Kategorisierung
13-f	key-words_publication	Memo	Schlüsselbegriffe der Publikation
14-f	key-words_further-source_s	Memo	Schlüsselbegriffe aus weiteren Quellen

Die Abbildung 5 zeigt ein Bildschirmfoto, welches das Objekt Tabellen, gemäß der vorhergehenden Beschreibung aufgebaut, in der Entwurfsansicht wiedergibt (E-Nase-db 2009, Access 2007).

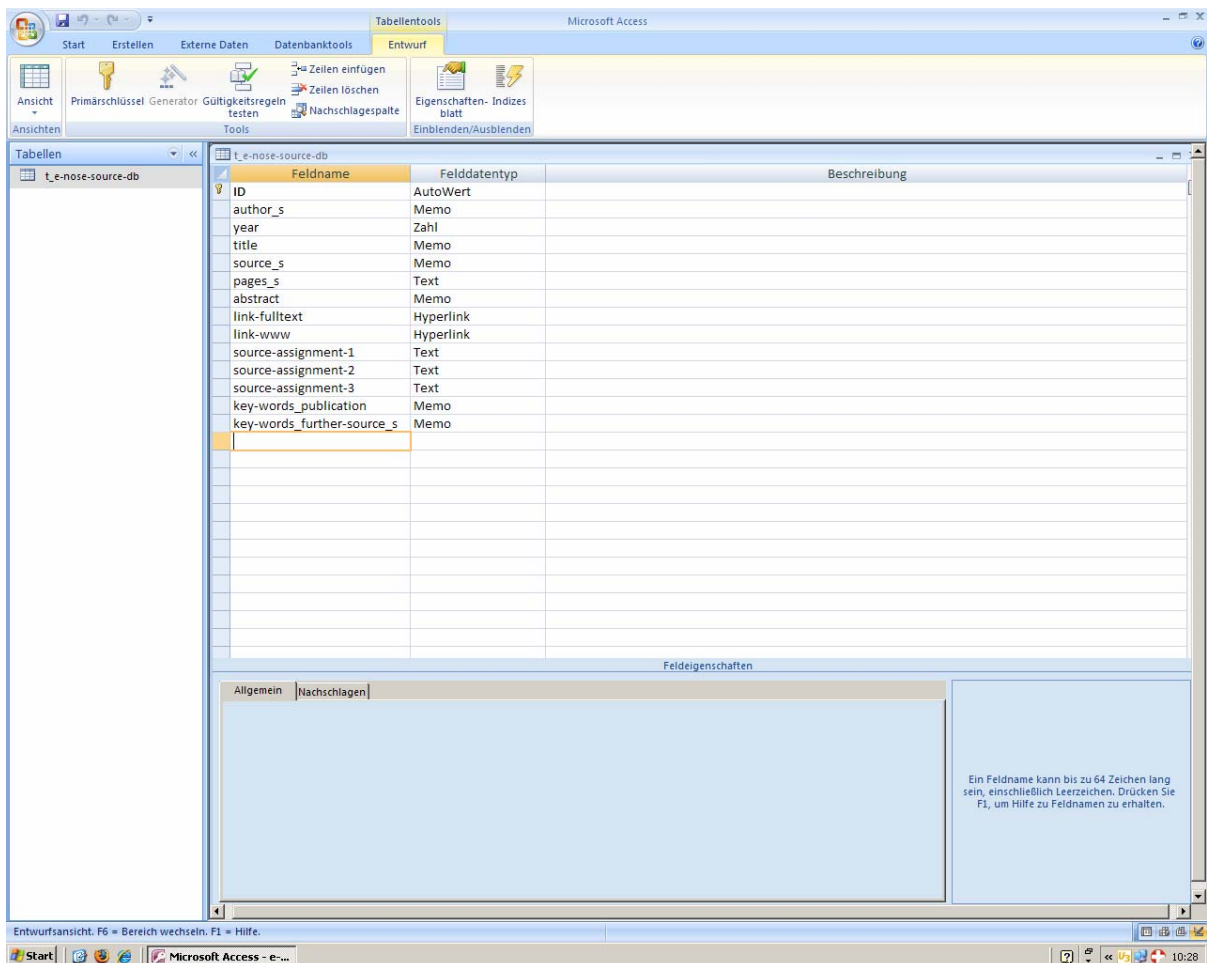


Abb. 5: "screenshot", Objekt Tabellen, Entwurfsansicht, Tabellenbezeichnung: "t_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Die einzelnen Feldnamen des selbst erstellten Suchinstruments (E-Nase-db 2009) und deren Inhaltsbeschreibung sind in Tabelle 2 ersichtlich.

Tab. 2: Inhaltsbeschreibung der "fields" (E-Nase-db 2009).

Nr.	Feldnamen	Inhaltsbeschreibung der Felder
1-f	ID (mit Primärschlüssel versehen)	Eindeutige Identifikation des Datensatzes ("record")
2-f	author_s	Autor oder Autoren der Publikation oder der entsprechenden Informationsquelle(n)
3-f	year	Jahr des Erscheinens der Publikation oder der entsprechenden Informationsquelle(n) bzw. der Letztstand der behandelten Webseite
4-f	title	Titel
5-f	source_s	z.B. Journal (Zeitschrift)
6-f	page_s	Seiten bzw. Seitenbereich
7-f	abstract	Kurzzusammenfassung
8-f	link-fulltext	Hyperlink zu einer bereitgestellten Publikation bzw. zu einer den informativen Inhalt ("content") enthaltenden pdf-Datei (pdf-"file"); ein Verzeichnis ("directory") mit dem Namen "e-nose_fulltext" beherbergt den Volltext passend zum jeweiligen Datensatz ("record"); das Datenbank-"file" "e-nose-source- db.mdb" und das Verzeichnis "e- nose_fulltext" befinden sich auf einer Ebene in der Datenorganisationshierarchie; das pdf-"file", den Volltext enthaltend, ist "relativ" (d.h. nicht absolut) zu dem Datenbank-"file" verknüpft.

Fortsetzung Tab. 2

9-f	link-WWW	URL als Hyperlink zu World Wide Web (Internet)
10-f	source-assignment-1	"drop-down" Liste mit Begriffen zur Charakterisierung des Inhaltes des Datensatzes
11-f	source-assignment-2	"drop-down" Liste mit Begriffen zur Charakterisierung des Inhaltes des Datensatzes
12-f	source-assignment-3	"drop-down" Liste mit Begriffen zur Charakterisierung des Inhaltes des Datensatzes
13-f	key-words_publication	Schlüsselbegriffe ("key words") der Publikation
14-f	key-words_further-source_s	Schlüsselbegriffe ("key words") u.a. aus IRB-Literaturdatenbanken wie z.B. RSWB

Jeder "record" birgt diese genannten Felder und den der "ID" entsprechenden Inhalt ("content").

Ein Objekt Formulare wird auf der Basis des Objektes Tabellen erstellt (Access 2000, Access 2002, Access 2007) und ist mit diesem inhaltlich verknüpft bzw. im Datenbestand zu nahezu jedem Zeitpunkt abgestimmt.

Der folgende "screenshot" als Abbildung 6 zeigt anhand eines exemplarischen Datensatzes (E-Nase-db 2009) wie der bislang beschriebene Tabellenentwurf, als Objekt Formulare verarbeitet, die Daten visuell strukturiert.

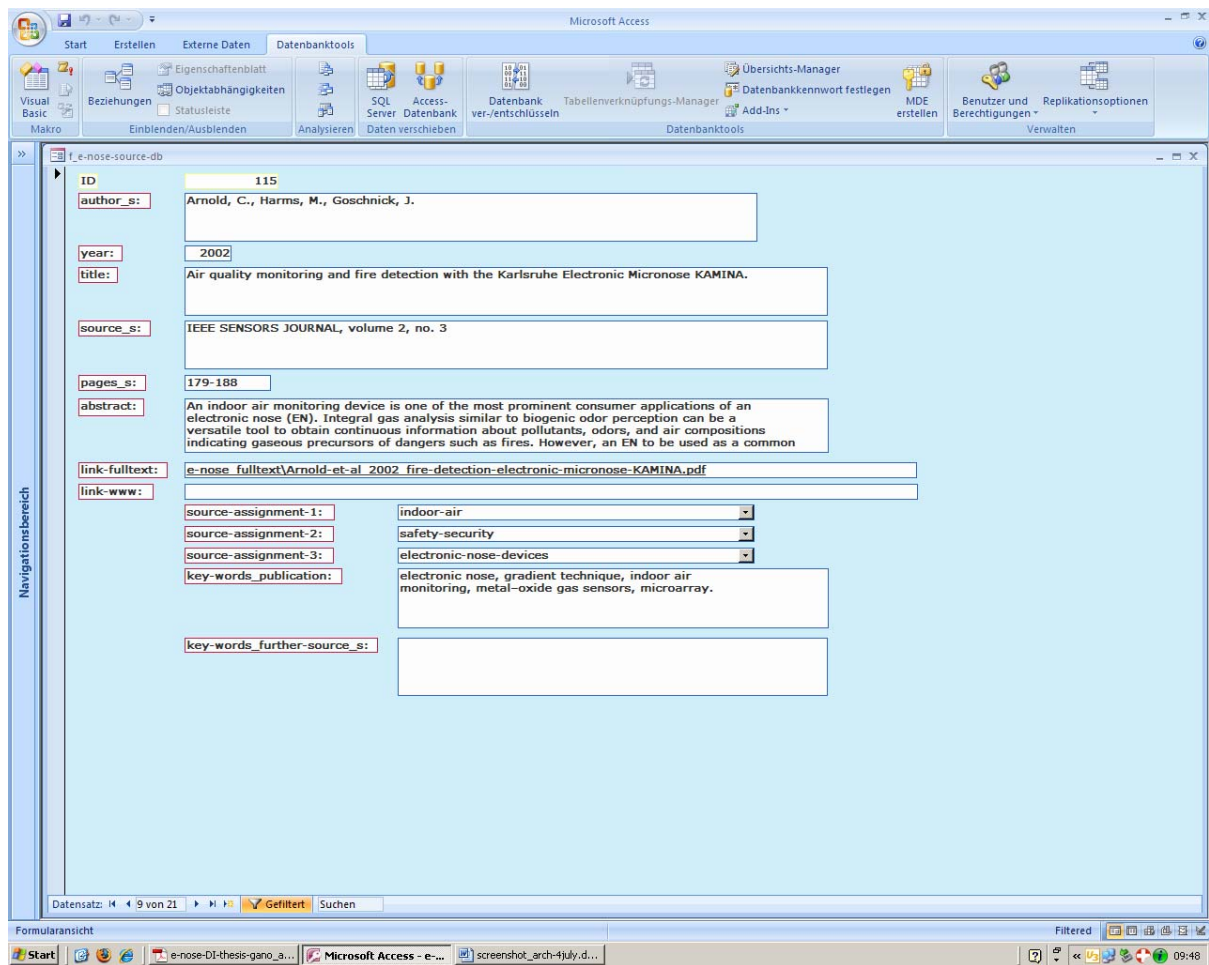


Abb. 6: "screenshot", Objekt Formulare, Formularbezeichnung: "f_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).

3.1.2 Funktionsweise der Datenbank

3.1.2.1 Einteilung der Datensätze in "cluster"

Die drei Felder "source-assignment-1", "source-assignment-2" und "source-assignment-3" enthalten jeweils eine idente "drop-down"-Liste mit Begriffen, die der Charakterisierung des Inhaltes des Datensatzes dienen sollen (E-Nase-db 2009). Die zur Verfügung stehenden Termini der "drop-down"-Liste sind in der folgenden Tabelle 3 enthalten.

Tab. 3: "drop-down"-Liste (E-Nase-db 2009).

Nr.	"source-assignment"- Bezeichnung, kurze Datenbank-Version	"source-assignment"- Bezeichnung, Schlagwörter als inhaltliche Erklärung
1-sa	"architecture_building"	"architecture", "building science";
2-sa	"biomimetic- olfaction_artificial-olfaction"	"biomimetic olfaction", "artificial olfaction";
3-sa	"building-control- diagnostics"	"building control and diagnostics";
4-sa	"electronic-nose-devices"	"electronic nose devices";
5-sa	"food-beverage-analysis"	"food and beverage": "analysis and quality assurance";
6-sa	"indoor-air"	"indoor air quality (assessment)", "environmental monitoring";
7-sa	"machine-learning- approach_pattern- recognition"	"machine learning approach", "pattern recognition" etc.;
8-sa	"medical-diagnosis_drug- analysis"	"medical diagnosis", "drug analysis and quality assurance";
9-sa	"multisensory- interfaces_multimedia"	"multisensory interfaces", "multimedia";
10-sa	"robotics"	"robotics";
11-sa	"safety-security"	"safety", "security": "fire safety", "anti-bioterrorism", "anti-terrorism", "accidental release of biological pathogens";
12-sa	"environmental-protection"	"environmental protection";
13-sa	"spaceflight-applications"	"spaceflight applications";
14-sa	"other-employment"	"other employment", "other context";
15-sa	"database_indoor-air- quality"	"indoor air quality database".

In der Entwurfsansicht (Access 2000) der Tabelle: "t_e-nose-source-db" wurden bezüglich den Feldern "source-assignment 1" bis "source-assignment 3" jeweils im Registerblatt "Nachschlagen" folgende Einstellungen vorgenommen.

- i) Im Feld "Steuerelement anzeigen" wurde der Listeneintrag "Kombinationsfeld" gewählt,
- ii) im Feld "Herkunftstyp" wurde der Listeneintrag "Werteliste" ausgesucht und
- iii) im Feld "Datensatzherkunft" wurde zwecks Erstellung der "drop-down"-Liste exakt jeweils der anschließend gezeigte Eintrag getätigt.

[Eintrag Anfang]

"architecture_building";"biomimetic-olfaction_artificial-olfaction";"building-control-diagnostics";"electronic-nose-devices";"food-beverage-analysis";"indoor-air";"machine-learning-approach_pattern-recognition";"medical-diagnosis_drug-analysis";"multisensory-interfaces_multimedia";"robotics";"safety-security";"environmental-protection";"spaceflight-applications";"other-employment";"database_indoor-air-quality";" "

[Eintrag Ende] (E-Nase-db 2009).

Die folgende Abbildung 7 zeigt einen "screenshot", der die, aus den beschriebenen Listeneinträgen, resultierende "drop-down"-Liste in der Formularansicht des Suchinstruments anhand eines willkürlich gewählten Datensatzes wiedergibt. In diesem Datensatz wurde im Feld "source-assignment-2" der Eintrag "indoor-air" gewählt.

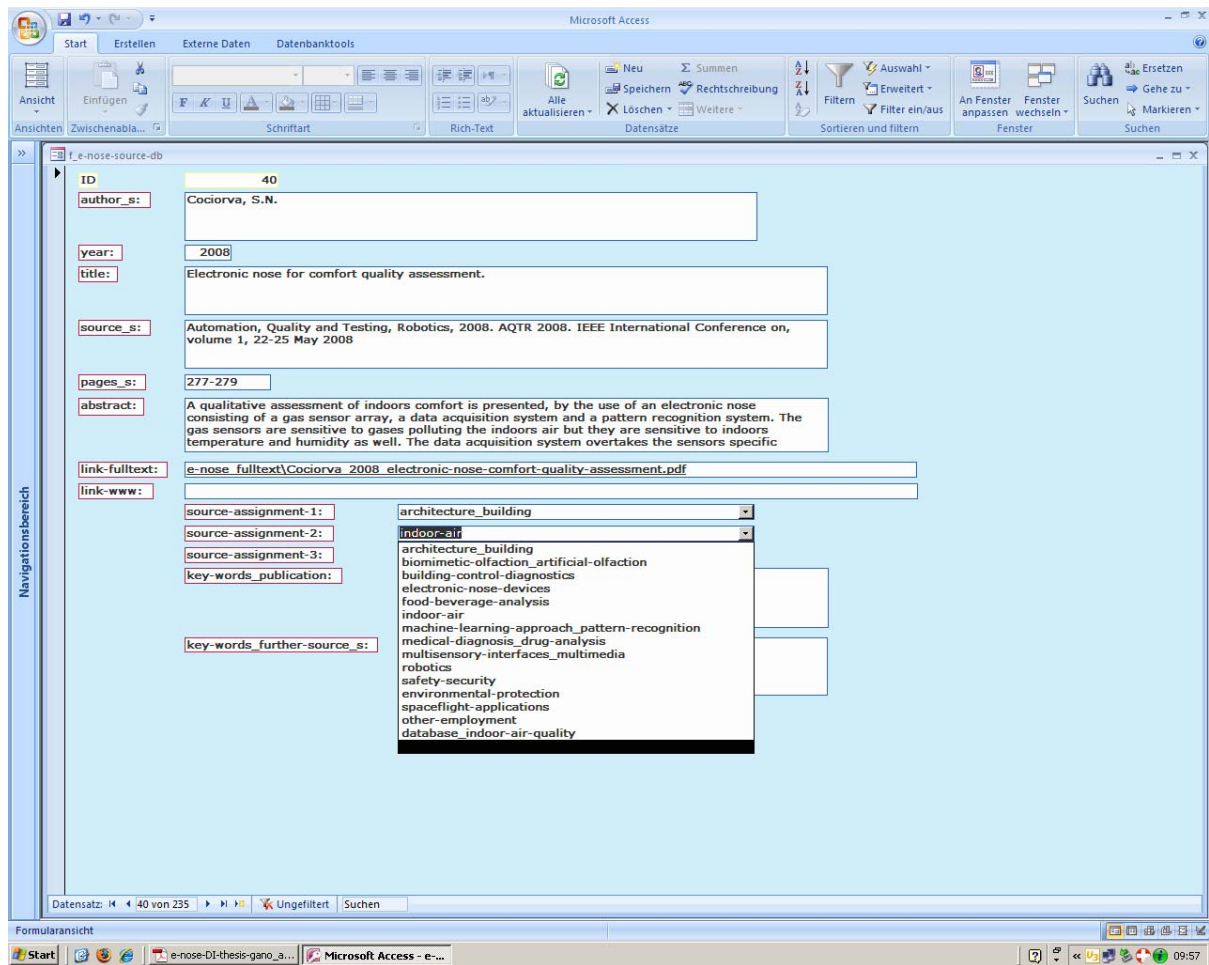


Abb. 7: "screenshot", "drop-down"-Liste in dem Feld "source-assignment-2", Formularbezeichnung: "f_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Eine exemplarische Zuordnung im "field" "source-assignment-3" ist in der anschließenden Abbildung 8 im Form eines weiteren "screenshots" ersichtlich. In diesem Feld fiel die Wahl auf den Eintrag "electronic-nose-devices" aus der "drop-down"-Liste in der Formularansicht des Suchinstruments.

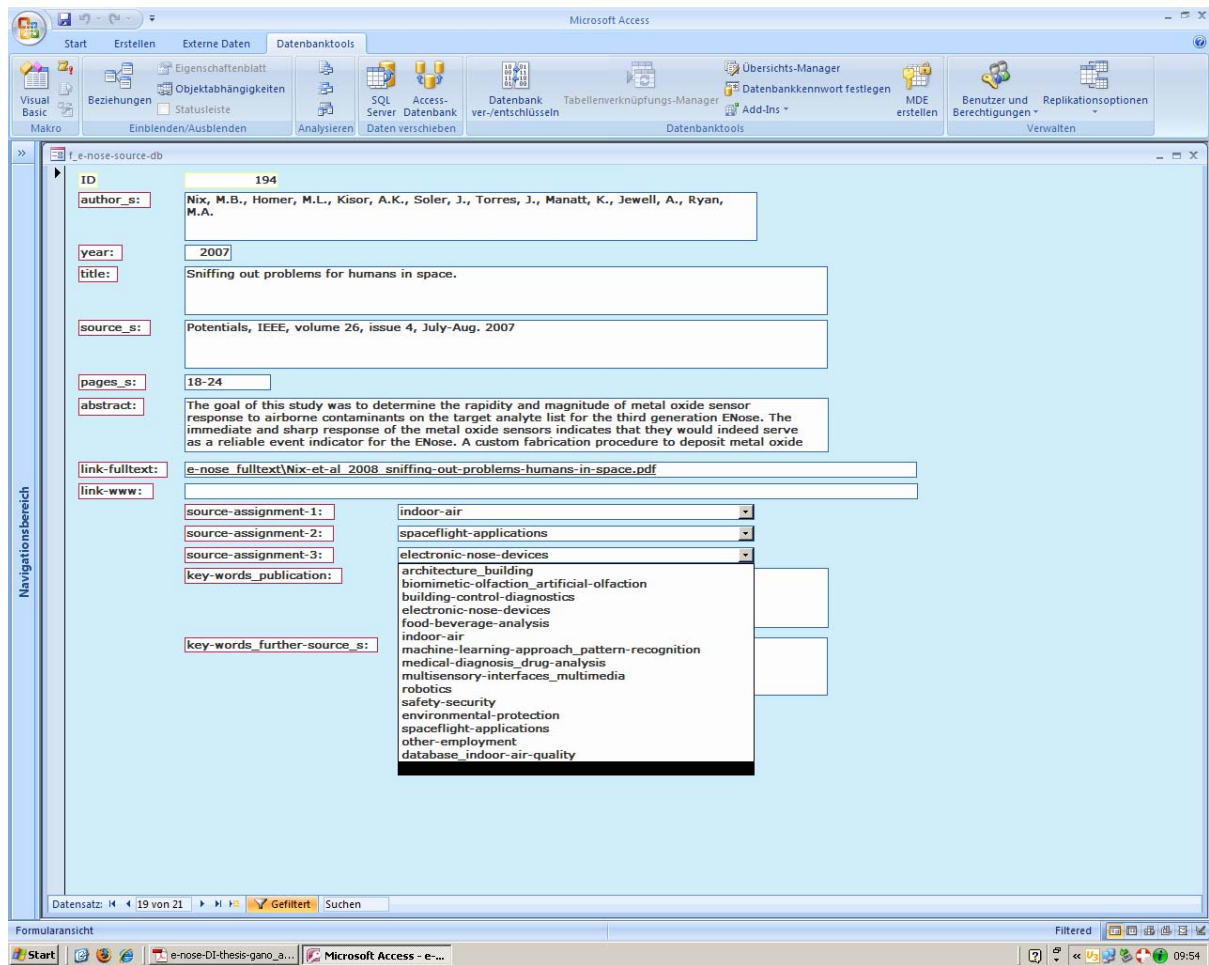


Abb. 8: "screenshot", "drop-down"-Liste in dem Feld "source-assignment-3", Formularbezeichnung: "f_e-nose-source-db" (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Die in der Folge angeführten Punkte i) bis iv) sollen die zugrunde liegenden Mechanismen und Überlegungen, ebenso die Zielsetzung der "cluster"-Einteilung erläutern.

- i) Mittels eines intuitiven Rankings konnte durch das "source-assignment" eine Vorsortierung für Recherchierende der Access-Literaturdatenbank erzielt werden, deren Ergebnis in den Feldern "source-assignment 1" bis "source-assignment 3" aufscheint.

- ii) Die Zahl der "drop-down"-Listen zu jeweils einem Feld "source-assignment" wurde vorsätzlich auf die Anzahl drei beschränkt, damit sich der Benutzer einen raschen und gezielten Überblick über die Hauptzuordnungen des jeweiligen "record" verschaffen kann.
- iii) Die Reihenfolge der Listeneinträge bzw. die Reihenfolge der drei "assignment" "fields" erlaubt keine gezielte Aussage über ihren Stellenwert in Bezug auf den Datensatz, diese drei Felder sind gleichrangig zu werten.
- iv) Prinzipiell wurden diejenigen Termini in das jeweilige Feld eingefügt, die die Inhalte, aufgrund der derzeit vorliegenden Information über den Datensatz, am ehesten charakterisieren; sind jedoch weitere in der "drop-down"-Liste enthaltene Ausdrücke ebenso passend in der Zuordnung wie die Gewählten, erfolgte keine Berücksichtigung dieser den Datensatz beschreibenden Schlagwörter (E-Nase-db 2009).

3.1.2.2 Abfragen im selbsterstellten Suchinstrument

Im Folgenden wird eine Abfrage der Datenbank (E-Nase-db 2009), mittels Eingabe von Schlüsselbegriffen, dargestellt, die Funktionalität dieses Suchinstruments näher veranschaulichend. Das Computer-Programm Access (Access 2000, Access 2002, Access 2007) zur Erstellung von Datenbanken bietet grundsätzlich diverse Varianten von Suchmöglichkeiten, die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht alle näher erläutert werden sollen. Es werden in der Folge nur beispielhaft und basierend auf der Orientierung der selbst erstellten Datenbank (E-Nase-db 2009) praxisnahe Prinzipien gezeigt wie z.B. die Suche eines Autors via "keyword"-Eingabe und die Suche eines themenspezifischen Begriffes im Feld der Titelangabe der jeweiligen "records".

Eine Auswahl an Datensätzen als Ergebnis von weiteren Abfragen im selbsterstellten Suchinstrument (E-Nase-db 2009) ist im Anhang III angeführt.

Exemplarisch erfolgt eine "query" im Feld "author_s" mit dem "keyword" "Pearce". Die Abfolge der einzelnen Schritte und ihr Ergebnis sind in den folgenden vier "screenshots" Abbildung 9 bis Abbildung 12 anhand von Beispielen gezeigt. Die Auswahl der Funktionen "Textfilter" und "Enthält" in Bezug auf das Feld "author_s" ist in der Abbildung 9 wiedergegeben.

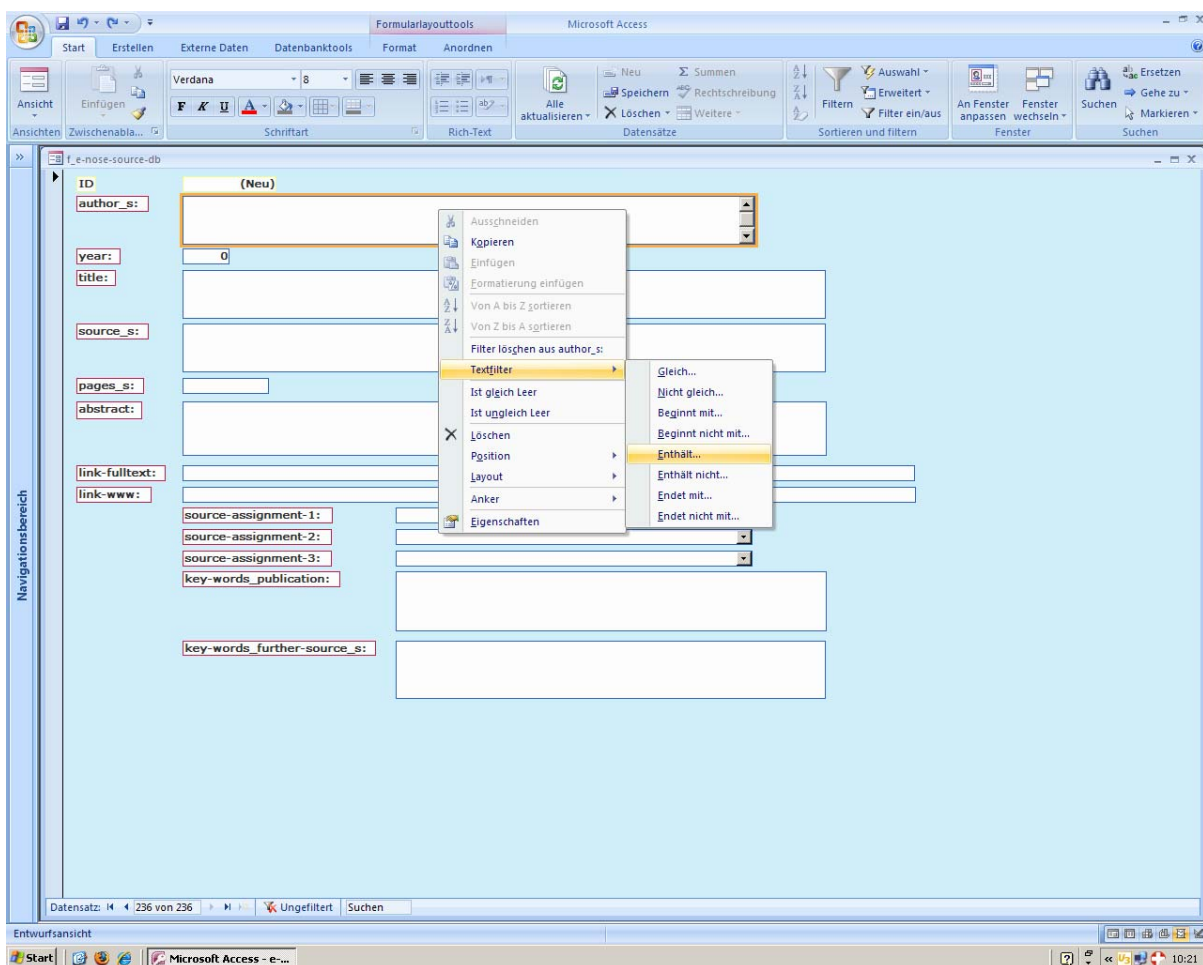


Abb. 9: "screenshot", Auswahl der Funktionen "Textfilter" und "Enthält" in Bezug auf das Feld "author_s" (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Die folgende Abbildung 10 veranschaulicht den status quo nach Eingabe des "keyword" "Pearce" innerhalb des Fensters "Benutzerdefinierter Filter".

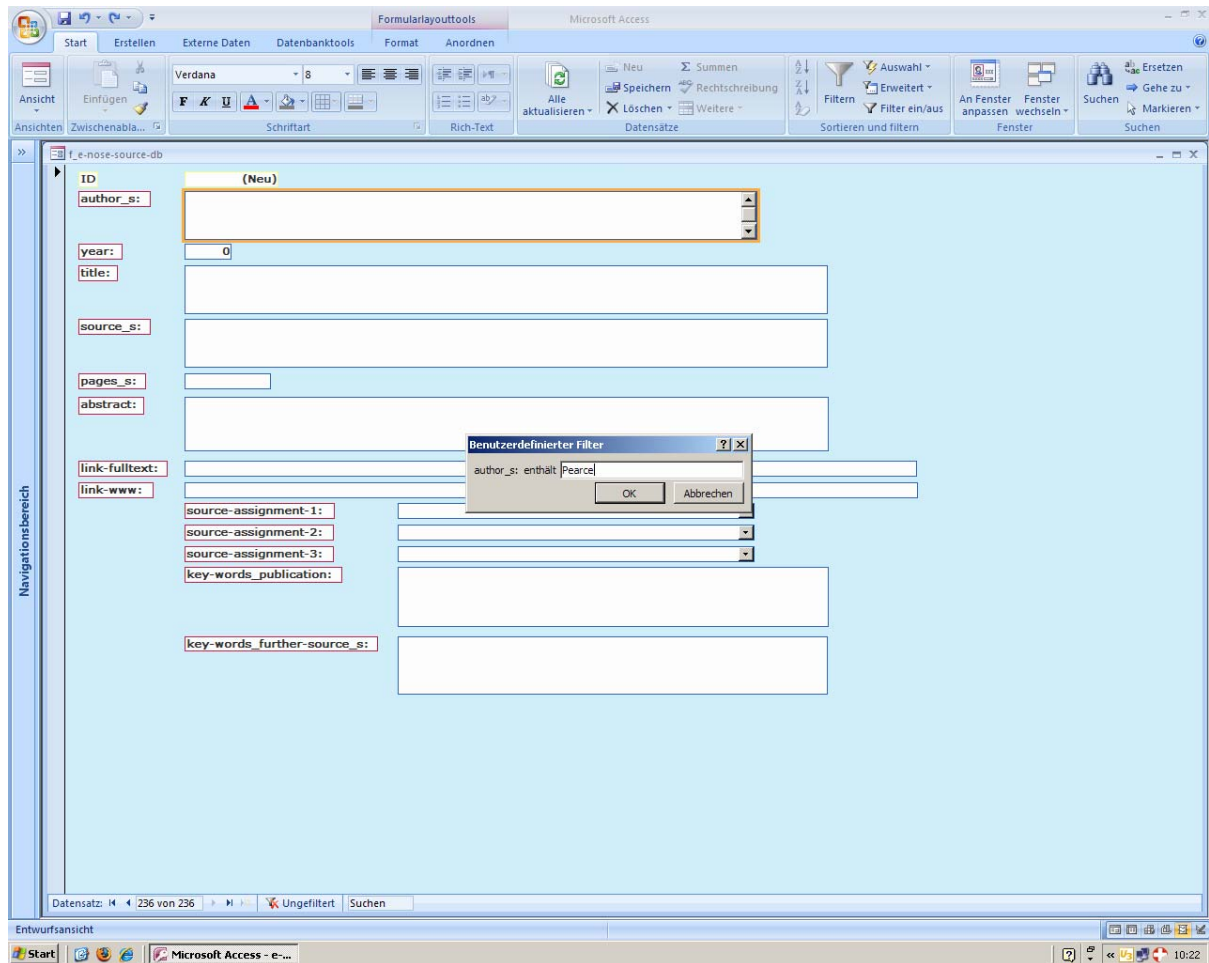


Abb. 10: "screenshot", Eingabe des Schlüsselbegriffes "Pearce" im Feld "author_s" im Rahmen der Abfrage (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Der folgende "screenshot" (Abb. 11) zeigt exemplarisch ein Suchergebnis der durchgeführten Abfrage.

The screenshot shows a Microsoft Access database window titled 'f_e-nose-source-db'. The form displays the following data for record ID 41:

ID	41
author_s:	Covington, J.A., Gardner, J.W., Hamilton, A., Pearce, T.C., Tan, S.L.
year:	2007
title:	Towards a truly biomimetic olfactory microsystem: an artificial olfactory mucosa.
source_s:	Nanobiotechnology, IET, volume 1, no 2, April 2007
pages_s:	15-21
abstract:	Today, the capability of the human olfactory system is still, in many ways, superior to that of the electronic nose. Although electronic noses are often compared with their biological counterpart, they neither mimic its neural architecture nor achieve its discriminating performance. Experimental studies on the mammalian olfactory system suggest that the nasal cavity,
link-fulldtext:	e-nose_fulltext\Covington-et-al_2007_biomimetic-olfactory-microsystem-artificial-olfactory-mucosa.pdf
link-www:	
source-assignment-1:	biomimetic-olfaction_artificial-olfaction
source-assignment-2:	electronic-nose-devices
source-assignment-3:	
key-words_publication:	
key-words_further-source_s:	biomimetics, electronic noses, microsensors artificial olfactory mucosa, biomimetic olfactory microsystem, chemoresistive microsensor, electronic nose, mammalian olfactory system, mucous layer, olfactory epithelium, partitioning mucous layer.

The status bar at the bottom indicates 'Datensatz: 1 von 6' and 'Gefiltert'.

Abb. 11: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "Pearce" im Feld "author_s", Beispiel 1 (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Gleichermaßen bietet ein weiteres Bildschirmfoto (Abb. 12) ein anderes Beispiel als Ergebnis der durchgeführten "query".

The screenshot shows a Microsoft Access window titled 'f_e-nose-source-db'. The interface includes a ribbon with tabs like 'Start', 'Erstellen', 'Externe Daten', 'Datenbanktools', 'Format', and 'Anordnen'. The main area displays a data entry form for a specific record (ID 67). The form fields are as follows:

- ID:** 67
- author_s:** Gardner, J.W., Tan, S.L., Covington, J.A., Pearce, T.C.
- year:** 2007
- title:** Enhanced discrimination of complex odours based upon spatio-temporal signals from a micro-mucosa.
- source_s:** Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, 2007. TRANSDUCERS 2007. International, 10-14 June 2007
- pages_s:** 2465-2468
- abstract:** We recently reported the novel concept of an artificial olfactory mucosa based upon a set of sensor clusters distributed along a channel coated with a retentive layer. Such a system generates complex signals containing both spatial information (i.e. response magnitude) based upon different types of sensors and temporal information (i.e. delay time like in a GC) based
- link-fulldtext:** e-nose_fulltext\Gardner-et-al_2007_spatio-temporal-signals-micro-mucosa.pdf
- link-www:**
- source-assignment-1:** biomimetic-olfaction_artificial-olfaction
- source-assignment-2:** other-employment
- source-assignment-3:**
- key-words_publication:** artificial mucosa, chemical microsystem, odour sensing, biomimetic sensors.
- key-words_further-source_s:**

The bottom of the window shows a status bar with 'Datensatz: 1 von 6', 'Gefiltert', and 'Suchen'. The taskbar at the very bottom indicates the system time as 10:11.

Abb. 12: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "Pearce" im Feld "author_s", Beispiel 2 (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Exemplarisch wird im Folgenden die Suche des themenspezifischen Begriffes "electronic nose", im Feld der Titelangabe der jeweiligen "records", veranschaulicht. Die Abfolge der einzelnen Schritte und ihr Ergebnis sind in den folgenden vier "screenshots" Abbildung 13 bis Abbildung 16 anhand von Beispielen gezeigt. Die Auswahl der Funktionen "Textfilter" und "Enthält" in Bezug auf das Feld "title" ist in der Abbildung 13 visualisiert.

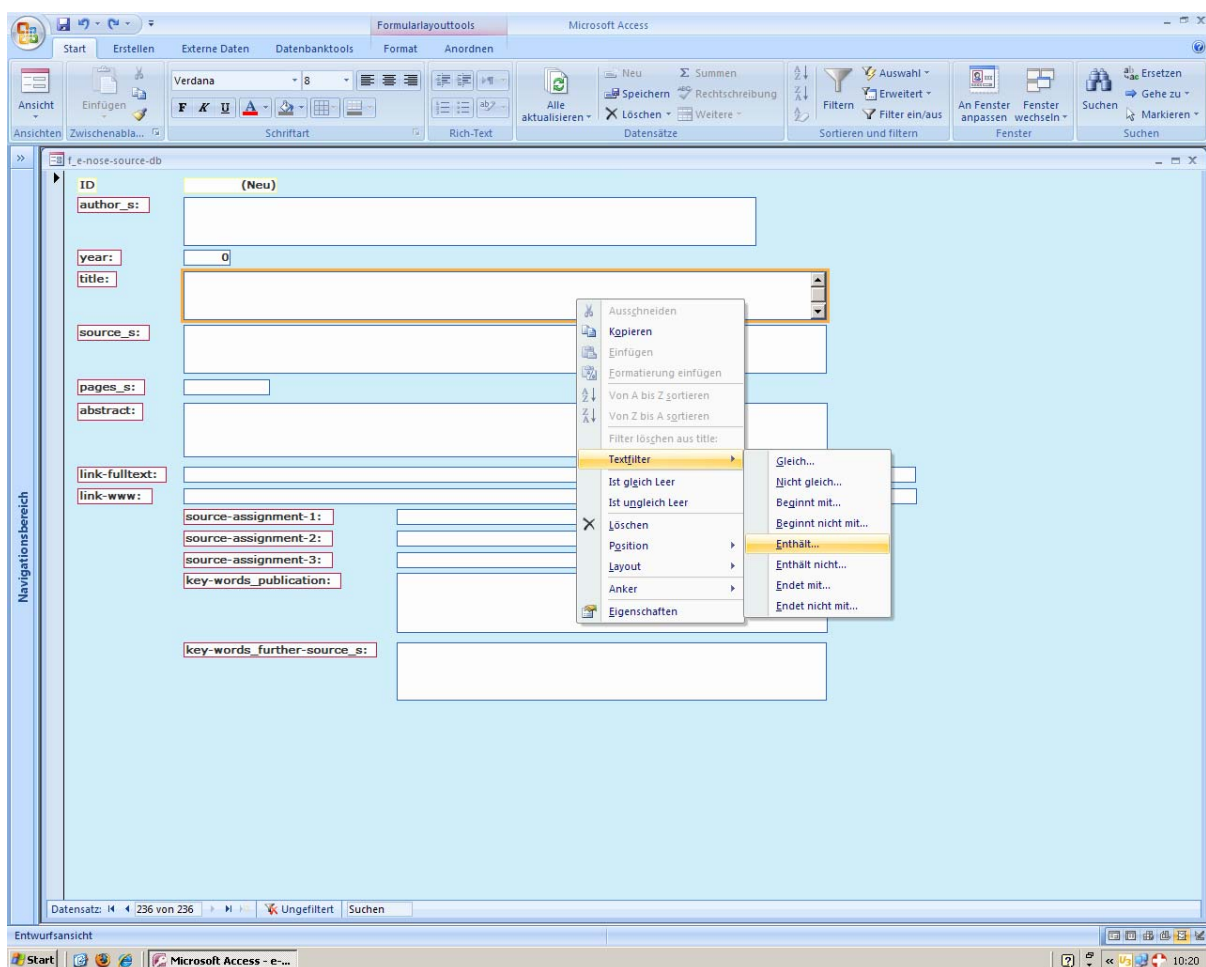


Abb. 13: "screenshot", Auswahl der Funktionen "Textfilter" und "Enthält" in Bezug auf das Feld "title" (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Die folgende Abbildung 14 veranschaulicht den status quo nach Eingabe des "keyword" "electronic nose" innerhalb des Fensters "Benutzerdefinierter Filter".

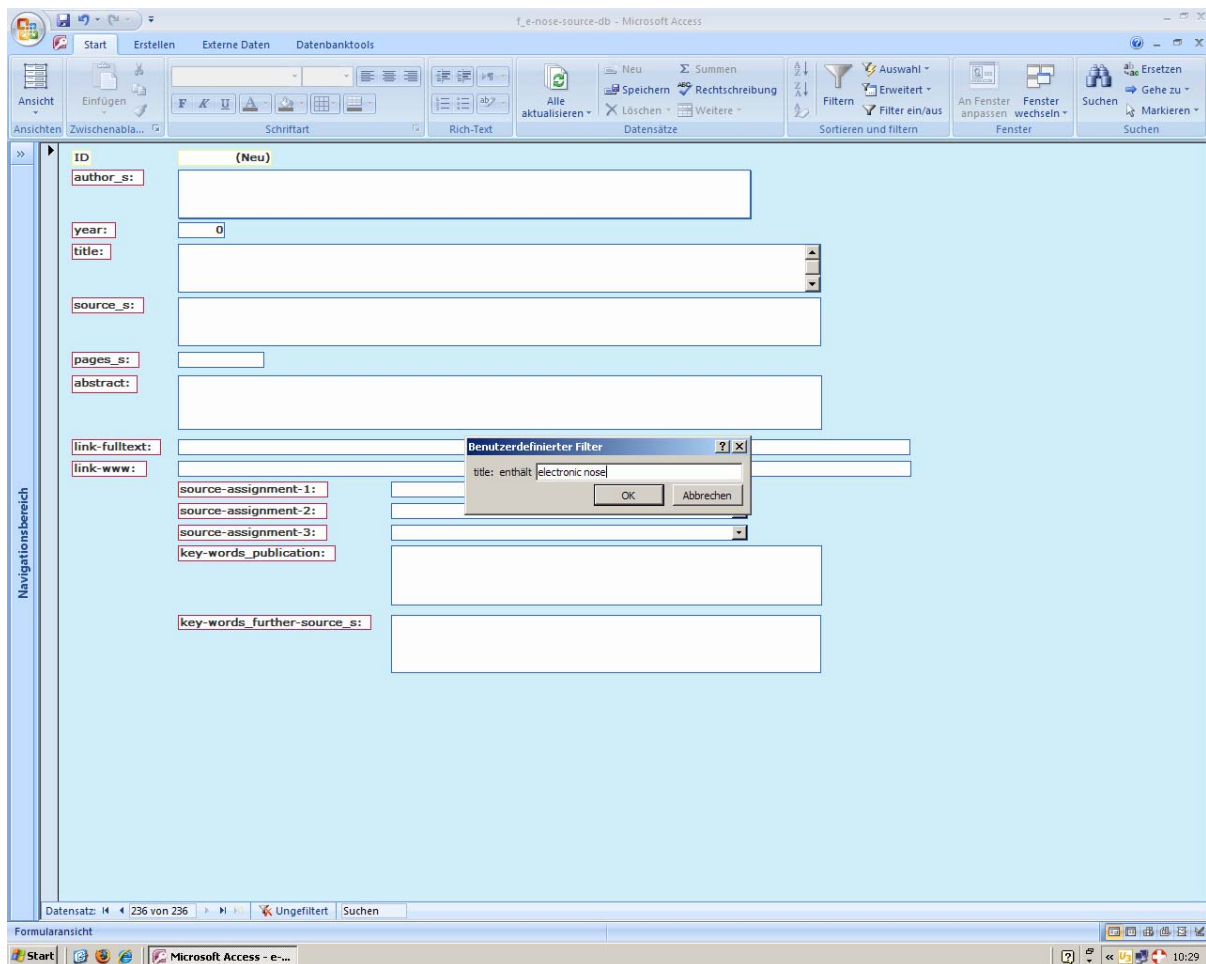


Abb. 14: "screenshot", Eingabe des Schlüsselbegriffes "electronic nose" im Feld "title" im Rahmen der Abfrage (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Der folgende "screenshot" (Abb. 15) zeigt exemplarisch ein Suchergebnis der durchgeführten Abfrage.

The screenshot shows a Microsoft Access window titled 'f_e-nose-source-db - Microsoft Access'. The interface includes a ribbon with tabs like 'Start', 'Erstellen', 'Externe Daten', and 'Datenbanktools'. The main area displays a form for a specific record (ID 45). The form fields and their values are as follows:

ID	45
author_s:	De Girolamo Del Mauro, A., Burrasca, G., De Vito, S., Massera, E., Loffredo, F., Quercia, L., Di Francia, G., Della Sala, D.
year:	2007
title:	Towards an all polymeric electronic nose: device fabrication and characterization, electronic control, data analysis.
source_s:	Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, 2007. TRANSDUCERS 2007. International, 10-14 June 2007
pages_s:	1011-1014
abstract:	In this work, a wireless electronic nose prototype, called TinyNose, hosting an array of four different polymeric-composite sensors developed at ENEA, is presented. Sensors are fabricated using a carbon black conducting phase dispersed in different polymeric matrices. The prototype has shown interesting results for VOC compounds detection and discrimination purposes during a
link-fulldtext:	e-nose_fulltext\De-Girolamo-Del-Mauro-et-al_2007_towards-all-polymeric-electronic-nose.pdf
link-www:	
source-assignment-1:	electronic-nose-devices
source-assignment-2:	other-employment
source-assignment-3:	
key-words_publication:	wireless sensor networks, electronic noses, TinyNose.
key-words_further-source_s:	

At the bottom of the window, the status bar indicates 'Datensatz: 29 von 123' and 'Gefiltert'. The taskbar at the very bottom shows the Windows Start button and the Microsoft Access application icon.

Abb. 15: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "electronic nose" im Feld "title", Beispiel 1 (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Gleichermaßen bietet ein weiteres Bildschirmfoto (Abb. 16) ein anderes Beispiel als Ergebnis der durchgeführten "query".

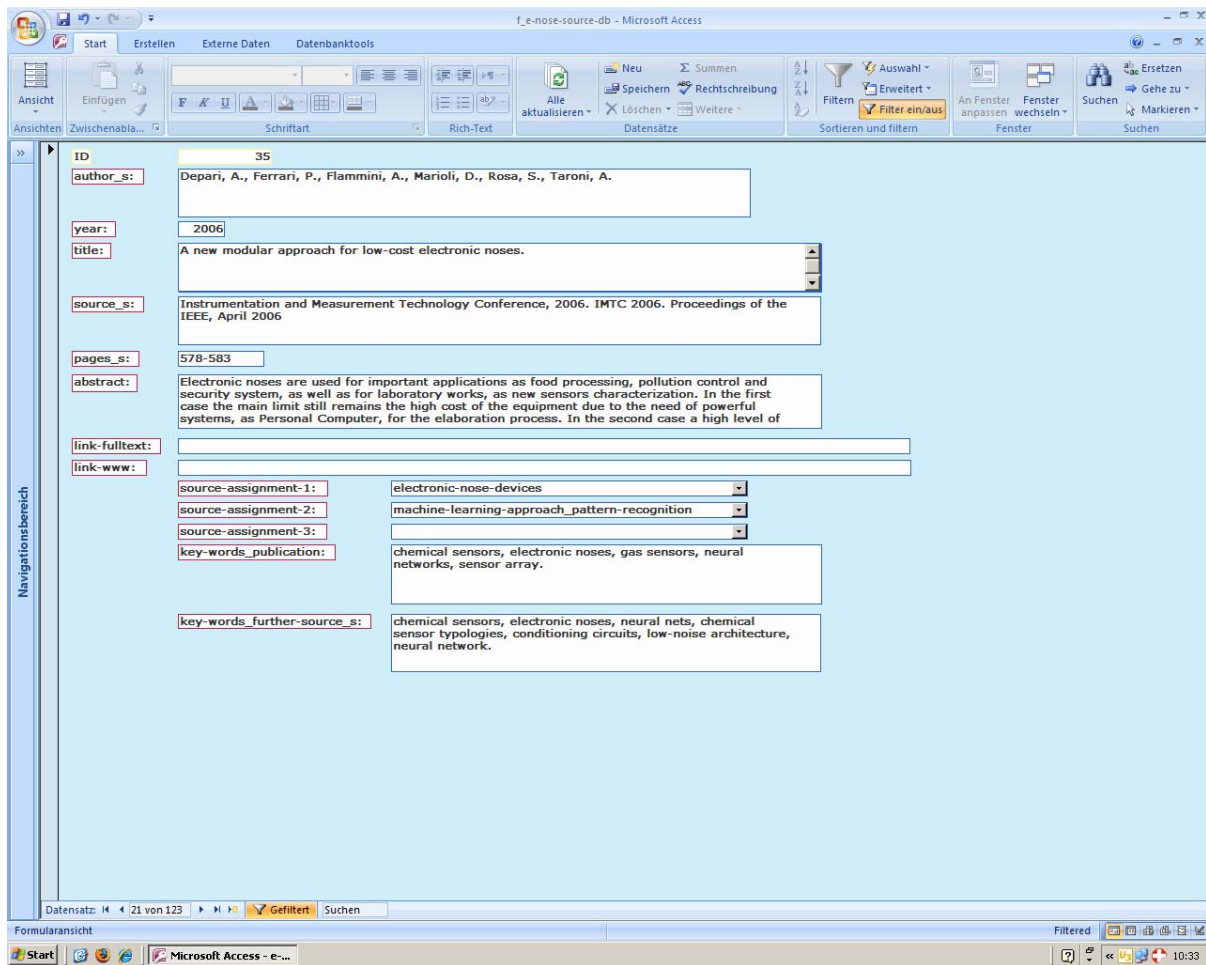


Abb. 16: "screenshot", Ergebnis der Abfrage des Schlüsselbegriffes "electronic nose" im Feld "title", Beispiel 2 (E-Nase-db 2009, Access 2007).

Eine andere Form der Abfrage als die bereits beschriebene ergibt sich durch die "cluster"-Einteilung. Diese bereits ausführlich erläuterte Kategorisierung ermöglicht, gemäß der Standard-Access-Funktionalitäten (Access 2000, Access 2002, Access 2007) im Rahmen der Filtersuche, die selektive "cluster"-Auswahl mit dem Einsatz von "Boolean operators" wie z.B. "oder" (bzw. "OR") zu kombinieren.

3.2 Hauptanwendungsgebiete von Elektronischen Nasen

Die Auswertung der bereits im Prototyp 1 des Suchinstruments (E-Nase-db 2009) enthaltenen Daten über Elektronische Nasen und weitere noch nicht erfasste, für den Prototyp 2 vorgesehene, aber bereits ausfindig gemachte Informationsquellen ermöglichen eine Aufstellung der Anwendungsgebiete, in denen E-Nasen derzeit vorwiegend zum Einsatz kommen. Die anschließende Auflistung steht in Korrelation mit dem jeweils Suchinstrument-relevanten "cluster" und enthält folgende Hauptanwendungsgebiete:

- i) Analysen bzw. Produktionskontrollen von Lebensmitteln und Getränken, nähere Erläuterungen dazu siehe 3.2.1, im Datenbank-"design" (E-Nase-db 2009) dem "cluster" "food-beverage-analysis" zugeordnet;
- ii) Medizinische Diagnosen, nähere Erläuterungen dazu siehe 3.2.2, im Datenbank-"design" (E-Nase-db 2009) dem "cluster" "medical-diagnosis_drug-analysis" zugeordnet;
- iii) Raumfahrtforschung, nähere Erläuterungen dazu siehe 3.2.3, im Datenbank-"design" (E-Nase-db 2009) dem "cluster" "spaceflight-applications" zugeordnet;
- iv) Robotik, nähere Erläuterungen dazu siehe 3.2.4, im Datenbank-"design" (E-Nase-db 2009) dem "cluster" "robotics" zugeordnet;
- v) Maßnahmen zur Sicherheit: Zivilschutz und Militäreinsatz zwecks Detektion von Sprengstoff einerseits, Detektion von Gas, Rauchentwicklung und Feuer andererseits, nähere Erläuterungen zu diesen Punkten siehe 3.2.5.1 und siehe 3.2.5.2, im Datenbank-"design" (E-Nase-db 2009) dem "cluster" "safety-security" zugeordnet.

3.2.1 Analysen bzw. Produktionskontrollen von Lebensmitteln und Getränken

Die Lebensmittelindustrie umfasst eine große Zahl von Technologien, in denen die Überwachung von Fertigungsprozessen und Qualitätskontrollen

eine Automatisierung durch E-Nasen nahe legt bzw. wirtschaftlich macht. Im Folgenden wird über Beispiele sowohl der Bewertung von Lebensmitteln als auch der Detektion ihrer Infektionen während der Verarbeitung bzw. der Verpackung berichtet. Der erfolgreiche Einsatz von "automatic sniffers" in diesem etablierten Bereich der "food"- und "beverage"-Analyse soll durch diese Ausführungen verdeutlicht werden.

3.2.1.1 Klassifikation von Schwarztee

Menschliche "Tea Taster" testen normalerweise Teequalität und ordnen einzelnen Proben "scores" für deren Eigenschaften in einer Skala von 1 bis 10 zu. Zu den wichtigsten Qualitätsattributen von Tee zählen Geruch und Aroma, ebenso sind Farbe und Stärke Parameter, die der Beurteilung dienen. Elektronische Nasen werden mittlerweile ebenso zur Klassifikation von Schwarztee eingesetzt. Die Korrelation der Messungen mit "Tea Taster" Befunden ("marks") sind Gegenstand einer vorliegenden Arbeit (Bhattacharyya et al. 2008). Der Einsatz der E-Nasen-Technologie zur Quantifizierung der Teequalität leistet einen Beitrag zur Kategorisierung von Geruch und Aroma. Die Qualität wird hauptsächlich durch biochemische Komponenten wie z.B. "Polyphenol, Amino Acids, Caffeine, Theaflavins" (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1314) verursacht. Die vorliegende Studie berichtet über die Auswahl von geeigneten Sensoren basierend auf der "sensitivity" für die wichtigsten Aromenproduzierenden Chemikalien von Schwarztee. Versuchsanordnungen werden mit Schwarztee-"samples" beschickt, die in indischen Gärten gesammelt worden sind. Weiters erfolgt die Entwicklung von Modellen, basierend auf PCA und ANN zwecks Datenauswertung, um die gewonnenen Ergebnisse mit "Tea Taster" "scores" vergleichen zu können (Bhattacharyya et al. 2008).

Für Schwarztee wird eine Anordnung von MOS-Sensoren verwendet mit dem "sensing"-Element "tin dioxide" (SnO_2), das eine geringe Leitfähigkeit in reiner Luft aufweist. In Gegenwart von Detektionskomponenten nimmt die Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Konzentration der Geruchsmoleküle zu. Nach Testen der sich ergebenden

Signifikanz einzelner Sensoren wurde ein "set" von 5 Sensoren für die Schwarztee-Klassifikation ausgewählt (Bhattacharyya et al. 2008).

Die Abbildung 17 zeigt den Aufbau eines "automatic sniffer" zur Teebewertung.

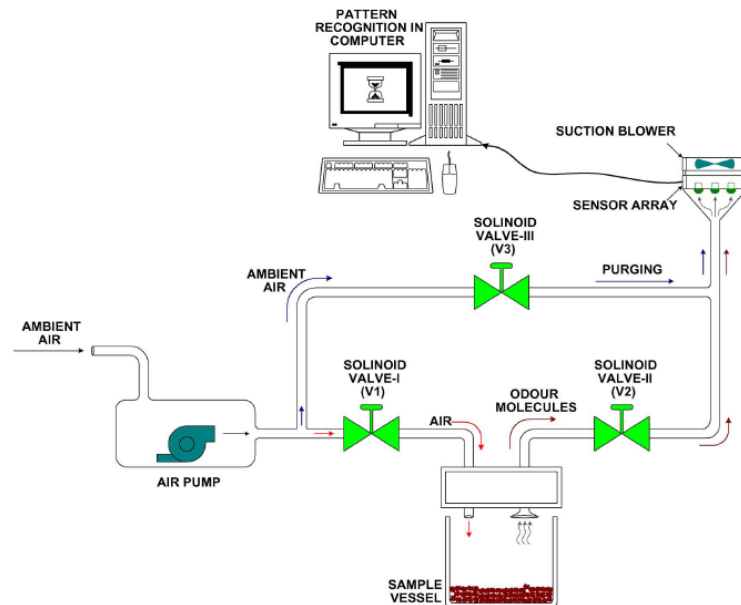


Abb. 17: Verlauf der Analyse von Schwarztee (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1316).

Das System besteht aus den im Folgenden genannten Komponenten:

- i) "a sensor array", (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1315)
- ii) "a micropump and solenoid valves with programmable sequence control", (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1315)
- iii) "PC-based data acquisition" (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1315) und einer
- iv) "olfaction software". (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1315)

Die anfänglichen PCAs ergaben die Existenz von definierten Häufungen in den E-Nasen Mustern ("pattern") in Bezug zu den "Tea Taster" "scores". Im Weiteren erfolgt eine Verarbeitung der Daten mittels des Einsatzes von künstlichen Neuronalen Netzen. "In this paper, three topologies of

neural networks have been studied and experimented with, and the probabilistic neural network (PNN) produces the best result, as compared to the back-propagation multilayer perceptron (BP-MLP) and radial basis function (RBF) models." (Bhattacharyya et al. 2008, p. 1318)

Die Auswertung der Daten ergab abschließend, dass die "accuracy" in der Voraussage mittels Elektronischer Nasen in Bezug auf unbekannte Tee-"samples" bei einer Klassifikationsrate von ca. 90% liegt (Bhattacharyya et al. 2008).

3.2.1.2 Detektion von Salmonella Kontamination

Salmonella Infektionen in Lebensmitteln rufen schwere gesundheitliche Schäden hervor, daher ist die Qualitätskontrolle zum Aufspüren der relevanten Keime in verpacktem Fleisch von besonderer Bedeutung. Bei dem in einer vorliegenden Arbeit beschriebenen Einsatz von E-Nasen (Panigrahi et al. 2008) wird zur Erkennung von Salmonella Kontamination ein neues auf Metalloxid basierendes integriertes E-Nasen-System entwickelt und kommt folglich zum Einsatz um VOCs erfolgreich zu testen. Im Vergleich zu anderen Detektionssystemen, die eine exakte Probenahme am Ort der Kontamination erfordern, können olfaktorische "sensing"-Analysen im gesamten "headspace" von verpacktem Fleisch erfolgen. Der Aufbau des Systems ist wie folgt charakterisiert. "The system consists of a sensing chamber, an array of eight sensors, sensor interface board and data acquisition and control board (DAC) as its main constituents." (Panigrahi et al. 2008, p. 85)

Die Signalverarbeitung erfolgt wie anschließend beschrieben. "The acquired signals were processed using three wavelet packet transforms (WPT) for simultaneous noise reduction and compression." (Panigrahi et al. 2008, p. 85) Die WPT-basierten Ergebnisse und bootstrapped LDA (Linear Discriminant Analysis) und QDA (Quadratic Discriminant Analysis) werden zur Klassifikation von olfaktorischen

Merkmale verwendet. Über die Art der detektierten Substanzen werden in der Studie keine Angaben gemacht.

Bei einer Treffsicherheit von 82 - 88% bietet die Methode dieses integrierten E-Nasen-Systems ein brauchbares Instrument zur Unterscheidung von kontaminierten und unkontaminierten Fleischverpackungen (Panigrahi et al. 2008).

3.2.1.3 Milchuntersuchung in Bezug auf Fremdhefen

Eine weitere Anwendung der "headspace"-Analyse mittels E-Nasen betrifft die direkte Probenahme in verpackter Milch und in Milchprodukten zur Untersuchung auf Fremdhefen. "Im Fall der Überwachung von Joghurt reicht es, eine Probennadel durch den Deckel eines fertigen Joghurts hindurch zu stechen." (Münchmeyer et al. 2004, "webpage") Unterschiedliche Fremdhefen können durch ihre gasförmigen Stoffwechselprodukte als Abweichung erkannt werden.

Die Messung von VOCs im "headspace" stellt somit für Grundnahrungsmittel eine Vereinfachung der Qualitätskontrollen dar (Münchmeyer et al. 2004).

3.2.2 Medizinische Diagnosen

In der Humanmedizin stellen Elektronische Nasen eine bedeutende Erweiterung der diagnostischen Möglichkeiten dar, wobei VOCs im Atem, Urin oder Blut detektierbar sind. Neben der Diagnose von Diabetes spielt das Erkennen einer malignen Erkrankung in der menschlichen Atemluft eine wichtige Rolle.

3.2.2.1 Diagnose von Lungenkrebs

Wang et al. beschreiben die Entwicklung einer E-Nase für die Diagnose von Lungenkrebs in einem frühen Stadium. Dieses Beispiel einer nicht-

invasiven Methode zur Erkennung und Diagnose von Lungenkrebs basiert auf einem neuen E-Nasentyp, der die Vorgänge einer Gasextraktion und einer Adsorption an einer Kapillarsäule zur Konzentration, Desorption und Separation von VOCs im Patientenatem beinhaltet. SAW-Gassensoren werden zur Identifizierung der chemischen Komponenten verwendet. Spezifische VOCs, die von Lungenkrebszellen in ihrem "micro-environment" freigesetzt werden, sind nachgewiesene Biomarker von Lungenkrebs. Die verschiedenen VOC-Profile der Retentionszeiten können dann als charakteristische Bilder den einzelnen Typen dieser malignen Erkrankung zugeordnet werden. Die Verfasser der Publikation beschreiben die Entwicklung einer E-Nasen-Technologie basierend auf dem Konzept von fortgeschrittenen Gassensortechniken kombiniert mit Gaschromatographie und dem Einsatz von "pattern recognition"-Methoden. Der Patientenatem wird im Beutel vorkonzentriert und unter N₂-Atmosphäre in die Kapillarsäule überführt, die weiteren Vorgänge werden wie folgt beschrieben. "When the VOCs eluted from the column, they were adsorbed on the polymer coating SAW sensor one by one and detected as frequency change steps just like an array response of each virtual sensor. The signals transmit to a portable computer for data processing and further using Back-propagation (BP) ANN algorithm combined with an image method for diagnosis." (Wang et al. 2008, p. 589)

Die klinisch-experimentellen Resultate zeigen, dass diese neue E-Nase effektiv zur Unterscheidung von Gesunden und Lungenkrebspatienten, auch im frühen Stadium der Erkrankung, einsetzbar ist (Wang et al. 2008).

3.2.2.2 Detektion von Krankheitserregern im Blut

Bereits 2001 meldet ein Pressebericht, dass eine E-Nase Krankheitserreger im Blut "erschnüffeln" kann (IIT 2001). In jenem Fall ermöglicht die innovative Messtechnologie, dass pathogene Keime wie z.B. Staphylococcus aureus im Blut schneller erkannt werden können als

durch herkömmliche Labortests, auch eine E-Nase zwecks Diagnose von Tuberkulose befand sich damals bereits in Entwicklung (IIT 2001).

Die beschriebenen Anwendungen veranschaulichen, dass die E-Nasen-Technologie auch einen wesentlichen Beitrag in der medizinischen Diagnostik leistet, indem Krankheiten, bereits in einem früheren Stadium, erkannt werden können und die Heilungschancen für die betroffenen Menschen sich dadurch massiv erhöhen.

3.2.3 Raumfahrtforschung

Aus dem Jet Propulsion Laboratory der NASA wird über die Entwicklung eine E-Nase zur Überwachung der Luftqualität für menschliche Habitate im Weltall berichtet. Die artifizielle Nase soll Unfälle wie Kontamination der Kabine durch Lecks, ausgeschüttetes Material und Komponenten, die bei Feuer oder überhitzter Elektronik entstehen, auffinden. Als Folge soll die Wiederherstellung der Luftqualität auf ein sicheres Niveau ermöglicht werden (Nix et al. 2007).

- i) Die Elektronische Nase der ersten Generation wurde 1998 an Board des "STS-95 space shuttle flight" getestet und lieferte nur Informationen über Feuchtigkeit und "daily marker events", aber nicht über mögliche Kontamination.
- ii) Die zweite Generation der "automatic sniffer" konnte schon 24 Komponenten detektieren.
- iii) Die E-Nase der dritten Generation wird an Board der "International Space Station" getestet. "Our test apparatus consists of a customized gas delivery system, a modified Figaro test chamber, a plug box, resistors, a power supply, Figaro SnO₂ gas sensors, temperature and humidity sensors, and a National Instruments (NI) data acquisition (DAQ) device to interface with the computer." (Nix et al. 2007, p. 20)

Die Raumfahrtforschung zählt damit offensichtlich zu einem der bedeutendsten Motoren der Entwicklung von E-Nasen.

3.2.4 Robotik

Die neuesten Entwicklungen in der Elektronik haben es möglich gemacht, kompakte E-Nasen herzustellen, die besonders für den Einbau in mobile Roboter oder andere "intelligente" Systeme geeignet sind. Ein schwedisches Forscherteam Loutfi und Coradeschi berichtet über "artificial olfaction" als Ersatz für biologischen Geruchssinn in einer Arbeit mit dem Titel "Odor recognition for intelligent systems" (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 41) oder "Pippi the mobile robot" (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43).

Integrierte komplexe Geruchserkennungskomponenten in heutigen (und künftigen) Robotern bieten viele mögliche Anwendungen (Loutfi & Coradeschi 2008).

- i) "A manufacturing robot could discriminate odors in production lines to test product quality." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 41)
- ii) "A safety robot could patrol hazardous areas and provide continuous feedback on environmental conditions." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 41)
- iii) "A home-care robot for the elderly could identify when milk had gone bad, throw it away, and then take out the garbage." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 41)

Die Verfasserinnen der Arbeit berichten über die Integration einer E-Nase in einen mobilen Roboter und testen seinen Erfolg bei verschiedenen Aufgaben der Korridorinspektion (Loutfi & Coradeschi 2008). "Pippi is a Magellan Pro indoor mobile robot that can run autonomously or be teleoperated by a human. The robot's name is inspired by the Swedish fictional character Pippi Longstocking, who is unconventional and assertive - not unlike our robot." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43)

Die folgende Abbildung 18 zeigt "Pippi" in Großaufnahme. "The Pippi robotic platform with a Cyranose 320 electronic nose. Pippi's other sensors include odometry sensors on the two wheel motors, 16 tactile sensors, 16 sonar ranging sensors, a fixed-color CCD camera, and 16 IR proximity sensors." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43)

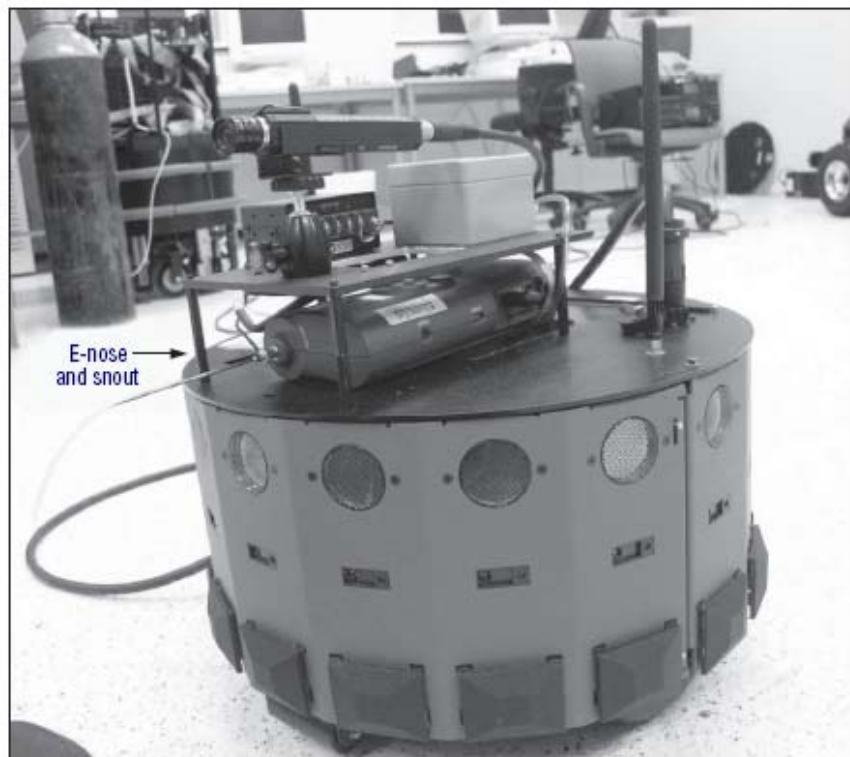


Abb. 18: "Pippi" Roboter "platform" mit Cyranose 320 Elektronischer Nase (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43).

Eine weitere Abbildung (Abb. 19) gibt "Pippi" bei der Arbeit wieder, eine Geruchsquelle lokalisierend. "Using its gas sensors, the robot (center) detects an odor, but sees three candidate odor sources (arrows pointing to cups on the floor). It will first use planning to approach each candidate, and then initiate odor sampling to determine each object's character and resolve the ambiguity." (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43)

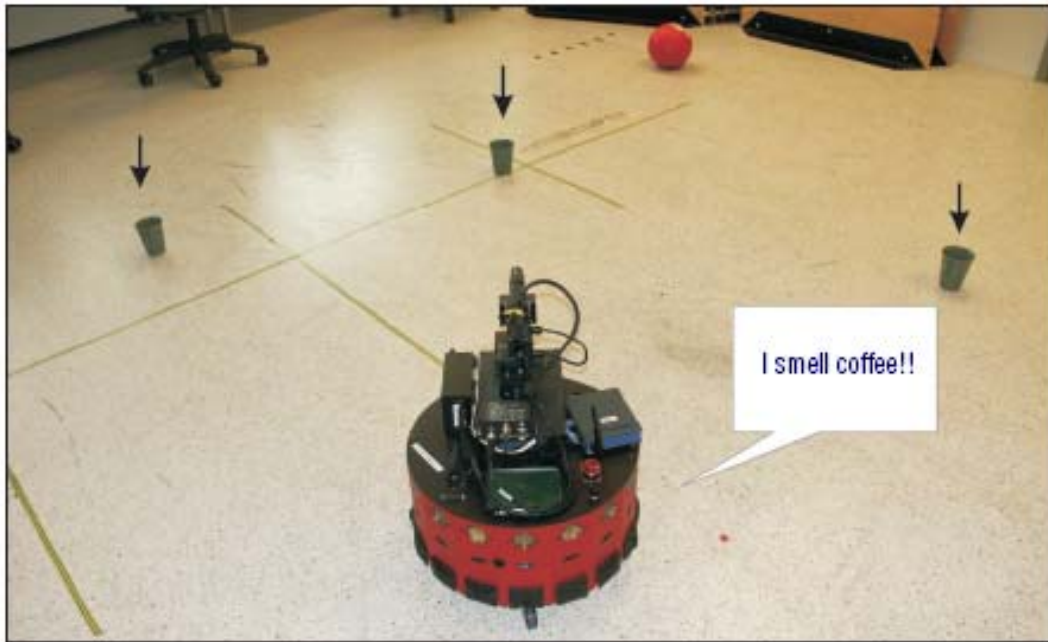


Abb. 19: "Pippi" eine Geruchsquelle lokalisierend (Loutfi & Coradeschi 2008, p. 43)

Die Grundidee für diesen Roboter ist, Universitätsgänge zu durchstreifen und die Art von gegenwärtigen Objektgerüchen wahrzunehmen. Die Anwender können "Pippi" eine Aufgabe stellen z.B. einen grünen Abfallkorb zu finden, der nach einer bestimmten Substanz riecht. In diesem System benutzen die Forscher einzelne "sources", deren chemische Zusammensetzung von vornherein bekannt ist (Loutfi & Coradeschi 2008).

Diese Anwendung verdeutlicht, dass Geruchswahrnehmung alleine nicht ausreicht, um die gestellte Aufgabe der Objektlokalisierung zu erfüllen, weil Wind- und Luftstrom die Ergebnisse verändern können. Eine Objektwahrnehmung erfordert das Erfassen von u.a. "vision" und "sonar" (Loutfi & Coradeschi 2008).

Robotik ist mit hoher Wahrscheinlichkeit eines der Gebiete in denen künstliche Nasen auch in Zukunft eine große Rolle spielen werden, weil mobile "intelligente" Systeme zunehmend als Substitution von menschlichen Wesen auftreten werden.

3.2.5 Maßnahmen zur Sicherheit

3.2.5.1 Zivilschutz und Militäreinsatz

Im Rahmen des Zivilschutzes und Militäreinsatzes dienen Elektronische Nasen zur Detektion von Sprengstoff als Präventivmaßnahme von Explosionen z.B. beim Aufspüren von Bomben in Briefsendungen bzw. auf öffentlichen Plätzen in Großstädten und bei Mienensuche in Kriegsgebieten.

Die folgende Abbildung 20 zeigt einen "cartoon" dieser oftmals lebenswichtigen bzw. lebensrettenden Aufgabe von künstlichen Nasen.



Abb. 20: Sprengstoffdetektion mittels Elektronischer Nasen auf der Basis von "conducting polymers" (Chang & Subramanian 2008, p. 52).

3.2.5.2 Detektion von Gas, Rauchentwicklung und Feuer

Als letztes Beispiel der Hauptanwendungen von Elektronischen Nasen soll die Detektion von Gas, Rauchentwicklung und Feuer erwähnt werden, welche zu einer der bekanntesten Einsatzmöglichkeiten gehört. In einer vorliegenden Arbeit (Fujinaka et al. 2008) wird ein E-Nasen System zwecks Erkennung von Feuer in einem frühen Stadium, auf einer rechnergestützten Auswertung mittels Neuronaler Netze basierend, beschrieben. Die durch Brand verursachten Haushaltsschäden sind sehr gravierend. Das entwickelte System kann mit einer sehr hohen Genauigkeit, besser als konventionelle "smoke detector"-Einrichtungen, diese Gefahr sehr rasch erkennen (Fujinaka et al. 2008). Für eine detaillierte Darstellung dieser Thematik soll jedoch an dieser Stelle wieder auf das selbst erstellte Suchinstrument (E-Nase-db 2009) verwiesen werden, das bereits ausfindig gemachte Informationen über existente Publikationen auf Abfrage hin liefert, wie z.B. auch die eben genannte Publikation, die den folgenden Titel trägt: "Intelligent electronic nose systems for fire detection systems based on neural networks". (Fujinaka et al. 2008, p. 73)

3.3 Einsatz von Elektronischen Nasen in der Architektur bzw. im Bausektor

3.3.1 Innenraumluftqualitätsbestimmungen und -messungen

Die Innenraumluftqualitätsbeurteilung ist ein wichtiger Teil der komplexen Beurteilung von Gebäudeperformance. Die "indoor air quality" (IAQ) ist durch verschiedene Faktoren beeinflusst und bildet mittlerweile einen integralen Bestandteil von Bewertungssystemen im "building science". "In the past decade, building environmental assessment systems have been developed in different countries to evaluate the sustainable and environmental performance of buildings. Building environmental assessment and certification systems are intended to foster more sustainable building design, construction and operations." (Vilčeková & Burdová 2008, p. 1) Es werden u.a. 7 verschiedene Gebäude-Bewertungssysteme ("building rating systems") unterschieden, die der

Förderung und Forcierung nachhaltiger Bauweise ("sustainable built environment") dienen, diese lauten wie folgt: CASBEE, BREEAM, GBTool, LEED, Green Globes, HK-BEAM und NABERS.

Die folgende Auflistung bietet jeweils eine Kurzinformation zu diesen "assessment"-Instrumenten bzw. beleuchtet einen speziellen Aspekt dieser "building rating systems".

- i) CASBEE dient als Abkürzung für "Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency", in Japan begründet wird es folgendermaßen definiert: "CASBEE is an assessment tool based on the environmental performance of buildings." (CASBEE 2009, "webpage");
- ii) BREEAM stellt eine Abkürzung für "Building Research Establishment Environmental Assessment Method" bzw. "Building Research Establishment's Environmental Assessment Method" dar, das System wird eingesetzt zur Bewertung der Nachhaltigkeit von jeder Art von Bauten, neue und bereits existierende (BREEAM 2009);
- iii) GBTool, eine Software als Teil des "International Green Building Challenge Process", steht in Zusammenhang mit dem "Sustainable Building Information System" (SBIS) bzw. der "International Initiative for a Sustainable Built Environment", welche folgendermaßen beschrieben wird: "iiSBE is an international non-profit organization whose overall aim is to actively facilitate and promote the adoption of policies, methods and tools to accelerate the movement towards a global sustainable built environment." (GBTool 2009, "webpage");
- iv) LEED dient als Abkürzung für "Leadership in Energy and Environmental Design" und wird als ein Bewertungssystem beschrieben, das Stakeholder des AEC- / FM-Bereiches in zahlreichen Ländern einsetzen. "Architects, real estate

professionals, facility managers, engineers, interior designers, landscape architects, construction managers, lenders and government officials all use LEED to help transform the built environment to sustainability. State and local governments across the country are adopting LEED for public-owned and public-funded buildings; there are LEED initiatives in federal agencies, including the Departments of Defense, Agriculture, Energy, and State; and LEED projects are in progress in 41 different countries, including Canada, Brazil, Mexico and India." (LEED 2009, "webpage") Exemplarisch präsentiert sich z.B. LEED-INDIA folgendermaßen: "The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED-INDIA) Green Building Rating System is a nationally and internationally accepted benchmark for the design, construction and operation of high performance green buildings." (LEED 2009, "webpage");

- v) Green Globes stellt ein Instrument ("tool") für "building environmental design" und Management dar. Es hat sich aus BREEAM entwickelt und wird in Canada und den USA eingesetzt (Green Globes 2009);
- vi) HK-BEAM steht für "Hong Kong"- "Building Environmental Assessment Method" und wird charakterisiert als: "the voluntary initiative to measure, improve and label the environmental performance of buildings." (HK-BEAM 2009, "webpage"); und
- vii) NABERS dient als Abkürzung für "National Australian Built Environment Rating System" und wird folgendermaßen definiert: "NABERS is a voluntary environmental rating system for office premises." (NABERS 2009, "webpage")

Die folgende Tabelle (Tab. 4) gibt eine Aufstellung (Vilčeková & Burdová 2008) nachempfunden wieder, welche die einzelnen Gebäude-Bewertungssysteme in Bezug auf Innenraumumgebungsqualitätsindikatoren miteinander in Beziehung setzt. Als Parameter werden jeweils das System, der Bereich und die Indikatoren genannt.

Tab. 4: "indoor environmental quality indicators"
(Vilčeková & Burdová 2008, p. 3), formal adaptierte Fassung.

"system"	"field"	"indicator"
CASBEE	"indoor environment"	"noise & acoustics", "thermal comfort", "lighting & illumination", "air quality";
BREEAM	"health & wellbeing"	"indoor and external issues affecting health and well being": "lighting", "air duality", "hazardous materials", "radon", "indoor noise", "hot water system";
GBTool	"indoor environmental quality"	"indoor air quality", "ventilation", "air temperature and relative humidity", "day lighting and illumination", "noise and acoustics", "electro-magnetic pollution-not yet active";

Fortsetzung Tab. 4

LEED	"indoor environmental quality"	"minimum IAQ performance", "environmental tobacco smoke", "carbon dioxide monitoring", "construction IAQ management plan", "low-emitting materials", "indoor chemical & pollutant source control", "thermal comfort", "daylight & view";
Green Globes	"indoor environment"	"effective ventilation system", "source control of indoor pollutants", "lighting systems", "thermal comfort", "acoustic comfort";
HK-BEAM	"indoor environmental quality"	"thermal comfort", "ventilation", "indoor air quality", "natural lighting", "artificial lighting", "acoustics & vibration";
NABERS	"interior"	"nature of environmental fit-out, equipment and operation", "percentage of workplaces within 5 meters of a window", "percentage of workers able to control light levels at their workplace".

3.3.1.1 Beurteilung der Komfortqualität von Innenluft mittels Elektronischer Nasen

Ein aktueller Ansatz ist die qualitative Beurteilung von Innenraumkomfort durch eine E-Nase. Die Gassensoren vermögen Verunreinigungen der Innenluft zu detektieren, aber sie erweisen sich ebenso sensibel gegenüber Temperatur und Feuchtigkeit. Die Datenakquisitionseinheit erhält die sensorspezifische Antwort als Input und dient als Übermittler eines charakteristischen Musters zwecks Auswertung mittels einer "artificial intelligence"-Applikation. Als derartiges "pattern recognition"-System kommt im vorliegenden Fall ein Neuronales Netz ("multilayer perceptron artificial neural network") zum Einsatz (Cociorva 2008).

Die Klassifizierung der Messergebnisse erfolgt nach qualitativen Gesichtspunkten. Die Qualität wird eingeschätzt durch Parameter wie z.B. thermischer Komfort, Feuchtigkeit, Reinheit, chemische Zusammensetzung der Luft, Geräusch-Level, Ionisation der Luft. Die Bewertung von Umgebungskomfort gestaltet sich sowohl objektiv als auch in hohem Maße subjektiv (Cociorva 2008).

Die an zweiter Stelle genannte personenabhängige Beurteilung erhöht die Komplexität signifikant, denn die individuelle Bewertung von mikroklimatischen Zuständen unterliegt einem starken Bias, folgende Punkte spielen dabei u.a. eine wesentliche Rolle:

- i) Physische und mentale Verfassung (wie z.B. Gesundheit, Krankheit, Freude, Niedergeschlagenheit, Anspannung, Entspannung etc.);
- ii) Individuelle Aktivität (wie z.B. Arbeiten, Studieren, Essen, Ruhen, Schlafen, etc.);
- iii) Soziale Umgebung und Aufenthaltsort zum Zeitpunkt der Bewertung (wie z.B. zuhause, alleine, mit der Familie, in Gesellschaft, in der Arbeit, etc.) (Cociorva 2008).

Die Tripel-Sensorsensibilität bezüglich Temperatur, Feuchtigkeit und einer bestimmten Konzentration an Unreinheiten in der Luft erlaubt es, ein Modell bestehend aus Komfortkategorien zu erstellen. Die Komfortqualitätsbewertung in dem vorliegenden Forschungsansatz erfolgt mittels in Tabelle 5 angeführter Musterklassen ("pattern classes") (Cociorva 2008).

Tab. 5: Musterklassen ("pattern classes") (Cociorva 2008).

Nr.	Musterklassen (deutsche Bezeichnung)	"pattern classes" (entsprechend der Publikation ursprüngliche englische Bezeichnung (Cociorva 2008))
a)	Behagliche, saubere Luft, angenehm zum Schlafen;	"cosy, clean air, nice for sleep";
b)	Reine Atmosphäre, Kühle, angenehm zum Studieren;	"clean atmosphere, coolness, nice for study";
c)	Warme Atmosphäre, leicht verunreinigt, angenehm für Party;	"warm atmosphere, slightly polluted, nice for party";
d)	Kühle Atmosphäre, leicht verschmutzt durch flüchtige organische Komponenten;	"cool atmosphere, slightly polluted by organic volatile compounds";
e)	Feuchte Atmosphäre, verunreinigt durch Kompostierungsgase;	"moist atmosphere, polluted by combustion gases";
f)	Hitze, Trockenheit, toxische Atmosphäre;	"hot, dry, toxic atmosphere";
g)	Kälte, Feuchtigkeit, Gefahr von Eisbildung;	"cold, moisture, danger of ice";

Fortsetzung Tab. 5

h)	Trockene Atmosphäre, verunreinigt durch Kompostierungsgase, Gefahr von Feuer;	"dry atmosphere, polluted by combustion gases, danger of fire";
i)	Sehr gefährliche Atmosphäre (Vernichtung nachsichziehender Gefahren).	"very dangerous atmosphere (blasting hazard)".

Die beschriebene Vorgehensweise soll der Verbesserung der Komfortqualität innerhalb von Gebäuden (Wohn- und Arbeitsstätten) dienen (Cociorva 2008).

3.3.1.2 Monitoring der VOC-Konzentrationen von Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol mittels Elektronischer Nasen

Substanzklassen der "Flüchtigen Organischen Verbindungen", deren deutsche Kurzbezeichnung FOV bzw. FOVs durch die englischen Kurzbezeichnung VOC bzw. VOCs, eine Abkürzung für "Volatile Organic Compounds", üblicherweise in der Fachsprache ersetzt wird, sind aus raumlufthygienischer Sicht von besonderer Bedeutung. Die folgenden zwei Zitate erläutern diese flüchtigen Verbindungen wie folgt:

- i) "In der Regel wird die Summenkonzentration aller flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC = Total Volatile Organic Compounds) zur Bewertung herangezogen, wobei allerdings einzelne Stoffklassen nicht überproportional stark vorhanden sein dürfen." (ALLUM 2009, "webpage")
- ii) "Eine eigenständige Gruppe flüchtiger organischer Verbindungen sind die so genannten MVOC (Microbial Volatile Organic Compounds). Hierbei handelt es sich um Verbindungen, die von Mikroorganismen (Pilzen, Bakterien) produziert werden." (ALLUM 2009, "webpage")

Eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens bei TVOC-Summenkonzentrationen wird

- i) unterhalb 0,2 Milligramm pro Kubikmeter als unwahrscheinlich,
- ii) im Bereich von 0,3 – 3 Milligramm pro Kubikmeter unter bestimmten Umständen als möglich und
- iii) im Bereich von 3 – 25 Milligramm pro Kubikmeter als wahrscheinlich

eingestuft (ALLUM 2009).

Menschen verbringen im Durchschnitt 80 - 90% ihrer Zeit in Innenräumen und daher besteht zunehmendes Interesse für VOC-Konzentrationen wie z.B. Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEXs), da diese im Bereich der Innenraumluftqualität eine entscheidende Rolle spielen. Derartige Innenraumluftverschmutzung durch BTEX-Aromate sind auf Rauchen, Bau- oder Einrichtungsmaterialien, Lacke bzw. Anstriche, Klebstoffe, andere Konsumentenprodukte und Heizungen zurückzuführen (Xiangsheng et al. 2005).

Eine themenspezifische Publikation (Xiangsheng et al. 2005) beschreibt eine verbesserte integrierte E-Nase, routinemäßig anwendbar, für Kurzzeit online Messungen ("short-term online measurement") von VOCs in Innenräumen mittels qualitativer und quantitativer Analyse. Die "target"-VOCs sind in diesem Fall u.a. Benzol, Toluol bzw. Formaldehyd. Der eingesetzte Sensor wird wie folgt beschrieben. "A novel kind of more sensitive gas sensor based on CuCl_2 doped multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) has been developed, which works at room temperature." (Xiangsheng et al. 2005, p. 2895) Es wird beschrieben, dass sich die Sensorleitfähigkeit linear mit der Konzentration der umgebenden VOCs verändert, folglich sind quantitative Messungen durchführbar (Xiangsheng et al. 2005).

3.3.1.3 Schimmelpilz- ("moulds"-, "fungus"- / "fungi"-) Detektion in Innenräumen unter Einsatz von Elektronischen Nasen

IERIE, eine Abkürzung für "Inventory of European Research on the Indoor Environment" (IERIE 2009), bildet als Datenbank einen interessanten Ausgangspunkt für Abfragen "queries" u.a. im Bereich Schimmelpilz-Detektion mittels Elektronischer Nasen. Die online zur Verfügung stehende Datenbank IERIE (IERIE 2009) bietet sich als Datenpool für den Einsatz im AEC- / FM-Bereich an. "IERIE is a database that holds detailed information on indoor environment research projects across Europe, ...". (IERIE 2009, "webpage") Sie bietet einen strukturierten Überblick Themen-spezifisch tätiger Wissenschaftler und ganzer Organisationen, ebenso sind konkrete Projekte ersichtlich. "This database is produced and maintained by the Institute of Environment and Health (IEH) on behalf of the Department of Health and the European Chemical Industry Council (CEFIC) as part of their Long-range Research Initiative (LRI). Here you can access up-to-date information on research activities throughout Europe relating to the indoor environment of domestic and public buildings, together with details of research workers and their organisations." (IERIE 2009, "webpage") Der Schlüsselbegriff "electronic nose" in der freien Textsuche ("free text search") in IERIE angewandt, ergibt das Suchergebnis von einem Datensatz, der das Projekt "Myconez" (Myconez 2003) beschreibt. Die Zielsetzung des Projektes umfasst die Detektion der VOC-Emissionen von Baumaterialien und in weiterer Folge die Erfassung und Klassifikation von VOCs, die durch Schimmelpilz-Kontamination erzeugt werden. Basierend auf dem Konzept einer Elektronischen Nase wird ein Instrument entwickelt, das der Bestimmung der Konzentrationsniveaus von Schimmelpilzen in Gebäuden dient. Die potentielle Zuordnung von IERIE (IERIE 2009) im Datenbank-"design" des selbst erstellten Suchinstruments (E-Nase-db 2009) ist das "cluster" "database_indoor-air-quality".

Ein weiteres Beispiel einer Publikation über mikrobielle VOCs als Indikator für Schimmelpilze bietet einen Überblick über verschiedene Studien auf diesem Gebiet. "The paper presents a review of several studies on the detection of microbial volatile organic compounds (MVOCs) considered as indicators of fungal contamination. As fungi produce specific profiles, or fingerprints of volatile compounds, the electronic nose technology is a very promising opportunity for rapid and non costly detection of fungi in buildings." (Kuske et al. 2005, p. 824) E-Nasen besitzen die Fähigkeit zwischen schimmeligen und nicht-schimmeligen Proben zu unterscheiden, ebenso erkennen sie bestimmte Arten von Pilzen. "One of the difficulties to use MVOCs as mould indicators is the great variety of substances produced by fungi. The choice of the compounds is a difficult task and should be based rather on a complex of substances forming a kind of "fingerprints" characteristic for moulds, than on individual compounds. Electronic nose technology responds well to this requirement since it utilises the differences of compounds' profiles to distinguish among different chemical mixtures." (Kuske et al. 2005, p. 828) E-Nasen stellen im Bereich "moulds"- bzw. "fungi"-Detektion ein ausbaufähiges "tool" dar, welches die Behebung von derartigen Bauschäden unterstützt.

3.3.1.4 Monitoring von Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffdioxid durch Anwendung von Elektronischen Nasen

Viele verunreinigende Substanzen u.a. NO_2 , SO_2 , CO , CO_2 , Zigarettenrauch, "particulate matter", Mineralfasern, Formaldehyd und die bereits angeführten TVOCs, sind in der Wohn- und Arbeitsumgebung vorhanden. Diese chemische Kontamination, im speziellen die gasförmigen Komponenten, sind hauptverantwortlich für "sick building syndromes" (SBS) und "building-related illnesses" (BRI) (Zampolli et al. 2004).

Einen Ansatz, wie mit niedrigen Kosten und einer einfachen E-Nasen Architektur ein Monitoring von Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffdioxid erfolgen kann, behandelt eine vorliegende Arbeit im Bereich "low-cost

indoor air quality monitoring applications" (Zampolli et al. 2004). "In this work, an electronic nose (e-nose) based on a solid state gas sensor array for the identification and the quantification of two typical indoor air quality tracers is presented. The simplicity of the proposed approach, which uses stand-alone gas sensors, simple driving electronics and fuzzy-logic pattern recognition algorithms, aims to realize a low-cost tool suitable to monitor some of the compounds of interest for IAQ." (Zampolli et al. 2004, p. 40) Zwecks Evaluierung der Konzentrationen jeder Komponente in einem komplexen Gasgemisch wurde ein Neuro-"fuzzy"-System verwendet, das neuronale Trainingsalgorithmen zwecks Optimierung implementiert. Es wurde eine Auswahl bestimmter Substanzen herangezogen um diesen Ansatz in der Realisierung zu evaluieren. "To validate the approach, only CO and NO₂ were taken into consideration as target compounds, while some VOCs and the humidity were considered as interfering species." (Zampolli et al. 2004, p. 40) Unter real nachgestellten Bedingungen wurden Konzentration von 20 ppb NO₂ und 5 ppm CO in einem Zeitraum von mehr als 45 Tagen erfolgreich kontinuierlich überwacht. Es kam zu keiner signifikanten Degradation der Sensorantwort (Zampolli et al. 2004).

3.3.2 Detektion der Emissionen von Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen mittels Elektronischer Nasen

Im Rahmen eines europäischen Forschungsprojektes mit der Bezeichnung SysPAQ (Müller et al. 2008a, Müller et al. 2008b) kooperieren 11 Institutionen, eine Kurzbezeichnung für "Innovative Sensor System for Measuring Perceived Air Quality and Brand Specific Odours". "Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Messgerätes zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität sowie der Erkennung von markenspezifischen Gerüchen." (Müller et al. 2008a, p. 36) Es werden neue Multigassensensorsysteme mit erhöhter Empfindlichkeit gegenüber flüchtigen Substanzen in der Innenraumluft entwickelt und für die Bestimmung der empfundenen Luftqualität ein geeignetes Datenverarbeitungsmodell erarbeitet (Müller et al. 2008a). Zur näheren Veranschaulichung der Projektziele dient folgende Aufstellung.

- i) "Definition von Methoden zur Messung der empfundenen Luftqualität und Geruchsintensität in Gebäuden und Fahrzeugen. Diese Methoden werden von allen Laboren bei Versuchen mit Probandengruppen angewendet."
(Müller et al. 2008a, p. 39)
- ii) "Entwicklung eines neuen Wahrnehmungsmodells für Gerüche. Dieses Modell ist ein wichtiger Bestandteil bei der Erstellung der Software für die Sensorsysteme." (Müller et al. 2008a, p. 39)
- iii) "Entwicklung eines innovativen Sensorsystems zur Bestimmung der empfundenen Luftqualität und markenspezifischen Gerüchen." (Müller et al. 2008a, p. 39)
- iv) "Validierungs- und Kalibrierungstests des innovativen Sensorsystems." (Müller et al. 2008a, p. 39)

"Die Endversion des Systems soll in den folgenden Bereichen angewendet werden können:" (Müller et al. 2008a, p. 39)

- i) "Monitoring der empfundenen Luftqualität in Gebäuden und Fahrzeugen." (Müller et al. 2008a, p. 39)
- ii) "Monitoring der Zuluftqualität von raumluftechnischen Anlagen um gesunde und komfortable Luft zu gewährleisten."
(Müller et al. 2008a, p. 39)
- iii) "Labeling von Materialien auf Basis der Emissionstests von Baumaterialien und Materialien aus Fahrzeugen."
(Müller et al. 2008a, p. 39)
- iv) "Kontrolle der Produktionsprozesse von Bauprodukten und Materialien aus Fahrzeugen." (Müller et al. 2008a, p. 39)

Im Anhang II ist eine Aufstellung der an diesem Forschungsprojekt beteiligten Institutionen (Müller et al. 2008b, p. 1), als exemplarische Zusammenstellung aktueller Forschungsinstitutionen im Bereich E-Nasen-Technologie, erfolgt.

3.4 Einsatz von Elektronischen Nasen in Multimedia-Applikationen

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von E-Nasen besteht im Bereich von Multimedia-Systemen, heutzutage üblichen elektronischen Umgebungen, wo Menschen durch "multi-sensory-interfaces" arbeiten und kommunizieren (Castro et al. 2003). Geruchs-Detektierungssysteme und Geruchs-Generierungssysteme sind bisher kein standardmäßig integraler Bestandteil. Eine vorliegende Arbeit (Castro et al. 2003) behandelt mögliche Anwendungsformen von Elektronischen Nasen in Multimedia-Applikationen und regt damit zur verstärkten Anwendung von künstlichen Nasen in diesem Bereich an.

3.5 Biomimetische bzw. biologische Elektronische Nasen

Olfaktorische Neuronen als Sensormaterial zu verwenden, um Bio-Elektronische Nasen zu entwickeln, ist ein paralleler Trend zu den bisher beschriebenen Sensoren, bestehend aus u.a. Metalloxiden, leitenden Polymeren und Oberflächenwellenleitern. Ein derartiger Ansatz versucht, zwecks Erlangen der Funktionalitäten eines artifiziellen Geruchsorgans, nicht nur ein biologisches System, funktionell gesehen, nachzubauen, sondern quasi Bausteine aus der gelebten Umwelt in die E-Nase zu integrieren, in einem Neuro-Chip resultierend. Olfaktorische Zellen-basierte Biosensoren zur Geruchsdetektion ahmen in verstärktem Maße das Funktionsprinzip von mammalischen olfaktorischen Systemen nach.

Eine vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Kultivierung von Geruchsgerichteten Neuronen auf der Oberfläche von LAPS. Diese Kombination ist als ein Hybrid-System zu werten. Für diesen Zweck werden "devices", mit der Bezeichnung "light-addressable potentiometric sensor" (LAPS), als Sensor-Chips eingesetzt. Das extrazelluläre Potential von Neuronen kann auf diesem Wege einem Monitoring unterzogen werden. Die Reaktion unter Stimulation von u.a. Neurotransmittern wie z.B. Glutamat ("glutamic acid") wird getestet (Liu et al. 2006).

4. Diskussion

Die akquirierten Daten (E-Nase-db 2009) lassen die Schlussfolgerung zu, dass der Einsatz von Elektronischen Nasen ein ausbaufähiges Konzept im Bereich "building science" darstellt. Energieperformance und Nachhaltigkeit von Gebäuden können maßgeblich durch optimierte Entscheidungsfindung, beginnend mit dem Entwurf von Gebäuden bis inklusive deren Betrieb, erzielt werden. E-Nasen stellen als Emissionsüberwachungsinstrumente gezielt einsetzbare "devices" dar, die dieser Entscheidungsfindung dienen und als solches einen wesentlichen Beitrag in diesem Sinne leisten können. Rechnergestützte Virtualität, Sicherheit und Robotik bieten ebenso Möglichkeiten, die Vorteile künstlicher Nasen in der Architektur zunehmend zu nutzen.

4.1 Einsatz von Elektronischen Nasen auf lokaler Ebene

Die in der Folge angeführten Punkte 4.1.1 bis 4.1.5 bieten eine Auswahl an konstruktiven Möglichkeiten, die sich durch die konkrete Anwendung von E-Nasen für Stakeholder des AEC- / FM-Bereiches ergeben.

4.1.1 Produktkontrolle

Mittels Qualitätskontrolle durch "artificial chemical sensing systems" kann der Anteil an FOVs für die Anwendung im Bereich "building science" reduziert werden wie z.B. in Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen. Diesbezüglich gesetzte Maßnahmen zur Gewährleistung, dass ein gewisser "threshold" an VOCs nicht überschritten wird, sind u.a. die Beurteilung der Emissionen während der Produktion von derartigen Produkten und ihre Bewertung im Hinblick auf Emissionen vor Einsatz im Gebäude. Die zahlreichen Überlegungen, wie man durch Reduktion bzw. Vermeidung von Substanzen negative Einflüsse verhindern kann, sind von einem energetischen Standpunkt aus relevant, ebenso zwecks Kostenminderung, zum Senken von Geruchsbelastungen und zur

Herabsetzung von Gesundheitsrisiken der Stakeholder des AEC- / FM-Bereiches.

4.1.2 "Digitaler Geruch"

Die Anwendung von "artificial noses" in Multimedia, "virtual reality" bzw. "augmented reality" ermöglicht die olfaktorische Sinneswahrnehmung in diesen Bereichen, ähnlich wie in der realen Welt. Damit kann dem Geruchssinn auch in künstlichen Welten ein der menschlichen Realität entsprechender Stellenwert eingeräumt werden.

4.1.3 Kombination mit "smoke detection"-Einrichtungen

Eingesetzte "smoke detection"-Systeme in Wohn- und Arbeitseinrichtungen bieten sich an, standardmäßig mit "artificial noses" kombiniert zu werden. Eine Optimierung der Sicherheit wäre durch eine derartige Maßnahme gegeben.

4.1.4 Gasleitungsbruch-Detektion

E-Nasen sollten zwecks Gasleitungsleck-Detektion standardmäßig in Wohn- und Arbeitseinrichtungen montiert werden, um als Warninstrumente bei Gasgebrechen zu dienen. Ein Rückgang an Gasleitungsbruch-Meldungen von Anrainern und Bewohnern rechtfertigt eine derartige Maßnahme. In diesem Kontext gibt es Ansätze, wieder vermehrt Duftstoffe in das Gas zu mischen. Es wäre sinnvoll und effektiv, diese Beimengungen mit dem Einsatz von "artificial olfaction systems" gezielt abzustimmen.

4.1.5 Robotik zwecks Unterstützung im Alter

Der Einsatz von Robotern mit integrierter E-Nase in Altenheimen bzw. altengerechten Umgebungen kann die Unterstützung von "elderly" in ihrer eigenen Wohnumgebung begünstigen. Die Selbstbestimmtheit und Lebensqualität von älteren, allein lebenden Menschen kann durch diese "intelligente Technik" deutlich verbessert werden.

4.2 Einsatz von Elektronischen Nasen auf globaler Ebene

Auf einer übergeordneten Ebene ist die Funktionalität von Elektronischen Nasen im Bereich Klimaschutz von besonderer Bedeutung, "air quality assessment" passiert zwar im individuellen Bereich, deren Tragweite jedoch ist globaler Natur. Die weltweite Beschäftigung mit "climate change"-Auswirkungen (GLORIA 2007), die bereits über viele Jahre andauert (Grabherr & Nagy 2009), war auch der Anlass für den World Business Summit (WBS-Climate-Change 2009) im Hinblick auf den im Dezember 2009 stattfindenden Copenhagen Climate Council (Climate-Council 2009). E-Nasen stellen für Entscheidungsträger in der Politik und Wirtschaft ein anschauliches Instrument und Sinnbild dar, Luftqualität und Emissionen zu überwachen, um folglich eine wesentlichen Rolle im Rahmen des Klimaschutzes zu spielen. Künstliche Nasen können zum Markenzeichen in Bezug auf Klimawandel-Maßnahmen werden und ein weltweites Monitoring sicherstellen.

4.3 Positive Wirkung von Gerüchen im Bereich "building science"

Geruch ist für das menschliche Leben, für den Einzelnen und für zwischenmenschliche Beziehungen oftmals sehr entscheidend. Der positive Einfluß auf das Architektur-Design durch die Miteinbeziehung von Gerüchen, Düften und Aromen in Wohn- und Arbeitsumgebung bzw. von Einrichtungsgegenständen und Baumaterialien stellt momentan in der Architektur jedoch noch einen vernachlässigten Aspekt dar. Die erhöhte Antizipation von Gerüchen bzw. Düften in Bezug auf Baumaterialien und Einrichtungsgegenstände bereits während dem "design process" könnte zu einer Steigerung des Wohlempfindens der Benutzer beim Wohnen und Arbeiten führen. In einem vorliegenden "abstract" einer Arbeit mit dem Titel "Smell – A neglected sense in architecture" wird auf das beschriebene Manko hingewiesen. "Every surrounding smells. ... There is excellent academic work done examining unpleasant or hazardous smells as one cause of Sick Building Syndrome (SBS) and service engineers and other specialists increasingly incorporate the results within their discipline to prevent negative influences. However, there is no academic work to explore the meaning and

the positive possibilities of odour in architecture. It is the aim of this paper to initiate a debate on this particular aspect of smell." (Rabe 2001, "webpage")

Der oftmals nicht ausgesprochenen, aber allgegenwärtigen olfaktorischen Sinneswahrnehmung von Menschen und Tieren sollte in ihrem Wohn- und Arbeitsumfeld ein entsprechender Stellenwert eingeräumt werden. Dem Anspruch von Stakeholdern des "building science" kann durch die antizipierte Berücksichtigung von Geruch mittels Einbeziehung in bauliche Maßnahmen Rechnung getragen werden. Die Beschäftigung mit und der verstärkte Einsatz von E-Nasen im AEC- / FM-Bereich kann das Bewusstsein für die Bedeutung von Geruch in der Architektur deutlich heben. Das nötige Hintergrundwissen über Elektronische Nasen stellt eine geeignete Grundlage dar, die lebenswichtige Geruchswahrnehmung auch in der Architektur in Zukunft gleichermaßen wie u.a. visuelle und haptische Kriterien zu berücksichtigen.

5. Schlussfolgerung

5.1 Mehrwert der vorliegenden Arbeit

Vielfalt und Reichtum der bisher vorliegenden Informationen über "artificial chemical sensing systems" und die empirisch begründete Antizipation, dass noch ein weiterer Bereich bisher nicht berücksichtigter Information über E-Nasen vorliegt, geben Anlass, die bestehende Datenbank (E-Nase-db 2009) als Prototyp 2 weiter auszubauen. Die Bedeutung von automatisierten Geruchssystemen für den Architektur- bzw. Bausektor verstärkt herauszustreichen und deren de facto Integration zu forcieren, stellt gleichermaßen eine wichtige Aufgabe für die weitere Entwicklung im "building science" dar.

5.2 Zukünftige Entwicklungen

Der Ansatz, einen möglichen Transfer aus derzeitigen Einsatzgebieten von automatisierten Geruchsbestimmungssystemen in den Bausektor zu vollziehen, zielt auf eine Ausweitung und Vertiefung des Einsatzes von Elektronischen Nasen im "building science" ab. Der Ausbau vorhandener Applikationen innerhalb der Architektur stellt ebenso eine sinnvolle Herausforderung für die Zukunft dar. E-Nasen sollen als Konsequenz auch in Normen, Standards und Richtlinien des AEC-Bereiches verstärkt aufscheinen. Das als Ergebnis der absolvierten Recherche zur Verfügung stehende Informationspool über "automatic sniffers" bietet eine geeignete Basis für alle Stakeholder des AEC- / FM-Bereiches, E-Nasen in das Repertoire des "Intelligenten Gebäudes" aufzunehmen. Ob die bionische, funktionelle Trinität, bestehend aus einem Multigassensor-"device", einem Datenakquirierungssystem und einer Mustererkennungseinheit, welche in diesem Kontext nun als Bauprodukt zu werten ist, bereits in der Planungsphase bei Renovierung, Adaptierung als auch bei Neubau erfolgreich angewendet werden wird, hängt nicht zuletzt von fachspezifischer Informationsbereitstellung auf kollaborativen Arbeitsplattformen ab.

6. Literaturverzeichnis

- Access (2000). Microsoft Office Access 2000. URL:
<http://office.microsoft.com/de-de/access/default.aspx> , last visited June 2009.
- Access (2002). Microsoft Office Access 2002. URL:
<http://office.microsoft.com/de-de/access/default.aspx> , last visited June 2009.
- Access (2007). Microsoft Office Access 2007. URL:
<http://office.microsoft.com/de-de/access/default.aspx> , last visited June 2009.
- Acree, T., Arn, H. (2004). Flavornet and human odor space. URL:
<http://www.flavornet.org/> [bzw.] URL:
<http://www.flavornet.org/flavornet.html> , last visited June 2009.
- ALLUM (2009). ALLUM - das Informationsangebot zu Allergie, Umwelt und Gesundheit. URL: [http://www.allum.de/noxe/fluechtige-organische-verbindungen-\(fov\).html](http://www.allum.de/noxe/fluechtige-organische-verbindungen-(fov).html) [bzw.] URL:
[http://www.allum.de/noxe/fluechtige-organische-verbindungen-\(fov\)-langfassung.html](http://www.allum.de/noxe/fluechtige-organische-verbindungen-(fov)-langfassung.html) , last visited June 2009.
- Bhattacharyya, N., Bandyopadhyay, R., Bhuyan, M., Tudu, B., Ghosh, D., Jana, A. (2008). Electronic nose for black tea classification and correlation of measurements with "Tea Taster" marks. Transactions on Instrumentation and Measurement, IEEE, volume 57, no. 7, pp. 1313-1321.
- BREEAM (2009). Building Research Establishment Environmental Assessment Method [bzw.] Building Research Establishment's Environmental Assessment Method. URL: <http://www.breeam.org/> [bzw.] URL:
http://ecoconsulting.net/www/Breeam_and_ecohomes.htm [bzw.] URL:
<http://www.prologis.com/en/sustainability/corporateaccountability.aspx> , last visited June 2009.
- CASBEE (2009). Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency. URL: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm> , last visited May 2009.
- Castro, R., Mandal, M. Kr., Ajemba, P., Istihad, M. A. (2003). An Electronic Nose for Multimedia Applications. IEEE, pp. 1431-1437.

Fortsetzung Literaturverzeichnis

- Chang, J.B., Subramanian, V. (2008). Electronic Noses Sniff Success. IEEE Spectrum, pp. 51-56.
- Climate-Council (2009). Copenhagen Climate Council. URL: <http://www.copenhagenclimatecouncil.com/> , last visited May 2009.
- Cociorva, S. N. (2008). Electronic nose for comfort quality assessment. IEEE. (Anmerkung: auf vorliegender Publikation keine Seitenzahlen und nur teilweise "source" angegeben, daher manuell durchgezählt: pp. 1-3; vorliegende Meta-Information aus Literaturdatenbank: International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, 2008, IEEE, volume 1, pp. 277-279.)
- Dunkel, M., Schmidt, U., Struck, S., Berger, L., Gruening, B., Hossbach, J., Jaeger, I. S., Effmert, U., Piechulla, B., Eriksson, R., Knudsen, J., Preissner, R. (2008). SuperScent – a database of flavors and scents. Nucleic Acids Research, pp. 1-4.
- E-Nase-db (2009). Literaturdatenbank Elektronische Nasen, Prototyp 1, Access 2000, status quo April 2009, filename: e-nose-source-db.mdb, Department of Building Physics and Building Ecology, Vienna University of Technology.
- FIZ-Technik (2009). Fachinformationszentrum Technik. URL: <http://fizweb.fiz-technik.de/cgi-bin/websuche?APPL=tu-wien> , last visited April 2009.
- Fujinaka, T., Yoshioka, M., Omatu, S., Kosaka, T. (2008). Intelligent electronic nose systems for fire detection systems based on neural networks. The Second International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, Sept. 29th 2008-Oct. 4th 2008, pp. 73-76.
- GBTool (2009). Software, International Green Building Challenge Process. URL: <http://www.greenbuilding.ca/> [bzw.] URL: <http://www.greenbuilding.ca/iisbe/start/iisbe.htm> [bzw.] URL: <http://www.greenbuilding.ca/gbc2k/gbtool/gbtool-main.htm> [bzw.] URL: <http://www.sbis.info/> , last visited May 2009.
- GLORIA (2007). Klimawandel: Neuankömmlinge verdrängen Alpenvegetation. URL: <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-6103-2007-02-20.html> , last visited June 2009.
- Google (2009). Google. URL: <http://www.google.com/> , last visited May 2009.

Fortsetzung Literaturverzeichnis

- Grabherr, G., Nagy, L. (2009). The Biology of Alpine Habitats. Oxford University Press, Pressemitteilung, URL: <http://idw-online.de/pages/de/news308233> , last visited June 2009.
- Green Globes (2009). Building Environmental Design and Management Tool. URL: <http://www.greenglobes.com/> , last visited May 2009.
- HK-BEAM (2009). Hong Kong-Building Environmental Assessment Method. URL: <http://www.hk-beam.org.hk/general/home.php> , last visited May 2009.
- IEEE-Xplore (2009). IEEE Xplore / Electronic Library Online (IEL), (IEEE / IET Electronic Library Online), [IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), IEE / IET (Institution of Engineering and Technology)]. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/dynhome.jsp> , last visited April 2009.
- IERIE (2009). Inventory of European Research on the Indoor Environment. URL: <http://ieh.cranfield.ac.uk/ierie/index.htm> , last visited April 2009.
- IRB-db (2009). Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB (Information Center for Planning and Building) in Stuttgart, Baudatenbanken. URL: <http://www.irb.fraunhofer.de/?lang=en> [bzw.] URL: <http://www.irb.fraunhofer.de/datenbanken.jsp?lang=en> , last visited April 2009.
- Kuske, M., Romain, A.-C., Nicolas, J. (2005). Microbial volatile organic compounds as indicators of fungi. Can an electronic nose detect fungi in indoor environments? Building and Environment 40, pp. 824-831.
- LEED (2009). Leadership in Energy and Environmental Design. URL: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=222> [bzw.] URL: <http://www.igbc.in:9080/site/igbc/tests.jsp?event=22869> , last visited May 2009.
- Liu, Q., Cai, H., Xu, Y., Li, Y., Li, R., Wang, P. (2006). Olfactory cell-based biosensor: A first step towards a neurochip of bioelectronic nose. Biosensors and Bioelectronics 22, pp. 318-322.
- Loutfi, A., Coradeschi, S. (2008). Odor Recognition for Intelligent Systems. IEEE Computer Society, (Digital Library URL: www.computer.org/intelligent), pp. 41-48.

Fortsetzung Literaturverzeichnis

- Müller, B., Bitter, F., Müller, D., Knudsen, H.N., Afshari, A., Wargocki, P., Olesen, B., Berglund, B., Ramalho, O., Häringer, D., Jann, O., Horn, W., Nesa, D., Chanie, E., Ruponen, M. (2008a). Multigassensoren systemen zur Messung der empfundenen Luftqualität, SysPAQ. KI Kälte - Luft - Klimatechnik, Oktober, pp. 36-41.
- Müller, B., Dahms, A., Knudsen, H. N., Afshari, A., Wargocki, P., Olesen, B., Berglund, B., Ramalho, O., Goschnick, J., Häringer, D., Jann, O., Horn, W., Nesa, D., Chanie, E., Ruponen, M., Müller, D. (2008b). Measuring perceived air quality and intensity by a sensor system, the European Project SysPAQ. Indoor Air 2008, 17th-22nd August 2008, Copenhagen, Denmark - Paper "ID": 530. (Anmerkung: auf vorliegender Publikation keine Seitenzahlen angegeben, daher manuell durchgezählt: pp. 1-8.)
- Münchmeyer, W., Walte, A., Hahne, K.-H., Matz, G. (2004). Elektronische Nasen in der Lebensmittelindustrie. Fachartikel, URL: <http://www.laborpraxis.vogel.de/analytik/kits-und-arrays/mikroarrays/articles/...> , last visited April 2009.
- Myconez (2003). Pacary Tiphaine (Project leader), Olivier Noiset (National collaborator), Belgium, Projektdauer: 2001-2003. URL: <http://ieh.cranfield.ac.uk/ierie/index.htm> , last visited April 2009.
- NABERS (2009). National Australian Built Environment Rating System. URL: <http://www.abgr.com.au/page.aspx?code=ABOUTUS&site=2> [bzw.] URL: <http://www.abgr.com.au/page.aspx?cid=617&site=2> [bzw.] URL: <http://www.environment.nsw.gov.au/government/nabers.htm> , last visited May 2009.
- Nix, M.B., Homer, M.L., Kisor, A.K., Soler, J., Torres, J., Manatt, K., Jewell, A., Ryan, M.A. (2007). Sniffing out problems for humans in space. Potentials, IEEE, volume 26, issue 4, pp. 18-24.
- Panigrahi, S., Young Chang, Khot, L.R., Glower, J., Logue, C.M. (2008). Integrated electronic nose system for detection of Salmonella contamination in meat. Sensors Applications Symposium, 12th-14th Feb. 2008, IEEE, pp. 85-88. (Anmerkung: auf vorliegender Publikation keine Seitenzahlen angegeben; da Journal angeführt, Seitenzahl beim Referenzieren sinngemäß von vorliegender Meta-Information aus Literaturdatenbank übernommen.)
- Pearce, T.C. (1997a). Computational parallels between the biological olfactory pathway and its analogue "The Electronic Nose": Part I. Biological olfaction. BioSystems 41, pp. 43-67.

Fortsetzung Literaturverzeichnis

- Pearce, T.C. (1997b). Computational parallels between the biological olfactory pathway and its analogue "The Electronic Nose": Part II. Sensor-based machine olfaction. *BioSystems* 41, pp. 69-90.
- Rabe, J. (2001). Smell - A neglected sense in architecture.
Kurzzusammenfassung der referenzierten Masters Thesis, University of Cambridge, URL: http://www.raven-partners.de/ak_smell.htm , last visited June 2009.
- SuperScent Charite (2008). SuperScent. URL: <http://bioinf-services.charite.de/superscent/> , last visited February 2009.
- Vilčeková, S., Burdová, E. (2008). Indoor environmental quality in assessment system of buildings. *Indoor Air 2008*, 17th-22nd August 2008, Copenhagen, Denmark, Paper "ID": 1026. (Anmerkung: auf vorliegender Publikation keine Seitenzahlen angegeben, daher manuell durchgezählt: pp. 1-8.)
- Wang, P., Chen, X., Xu, F., Lu, D., Cai, W., Ying, K., Wang, Y., Hu, Y. (2008). Development of electronic nose for diagnosis of lung cancer at early stage. *International Conference on Technology and Applications in Biomedicine*, 30th-31st May 2008, pp. 588-591.
- WBS-Climate-Change (2009). World Business Summit On Climate Change. May 24th 2009, Copenhagen, Denmark, URL: <http://opencarbonworld.com/events/world-business-summit-on-climate-change-2009> , last visited May 2009.
- Xiangsheng, F., Guowei, Q., Miao, G. , Min, P., Yuquan, C. (2005). An improved integrated electronic nose for online measurement of VOCs in indoor air. *IEEE - Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2894-2897.
- Zampolli, S., Elmi, I., Ahmed, F., Passini, M., Cardinali, G. C., Nicoletti, S., Dori, L. (2004). An electronic nose based on solid state sensor arrays for low-cost indoor air quality monitoring applications. *Sensors and Actuators, B*, volume 101, issue 1-2, pp. 39-46.

Verwendete Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung der Kurzform (auswahlweise: englisch, deutsch, italienisch)
AC	"Adenylate Cyclase"
ADP	Adenosindiphosphat
AEC- / FM-	Architektur-, Ingenieur- und Konstruktions- / Facility-Management-
ANN	"Artificial Neural Network", Artifiziell Neuronales Netzwerk
ATP	Adenosintriphosphat
BAW	"Bulk Acoustic Wave"
BP-MLP	"Back Propagation-Multilayer Perceptron"
BTEX (bzw. BTXE)	Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol
bzw.	beziehungsweise
cAMP	"cyclic Adenosine Monophosphate", zyklisches Adenosin Monophosphat
CCD	"Charge Coupled Device"
d.h.	das heißt
EN	"Electronic Nose", Elektronische Nase
E-Nase(n)	Elektronische Nase(n), "electronic nose(s)"
ENEA	"L'ENEA: Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente"; "ENEA: the Italian Agency for New Technologies, Energy and Environment"
etc.	et cetera
FETs	"Field Effect Transistors"
GDP	Guanosindiphosphat
G _{OLF}	"G proteins" "olfaction"
GTP	Guanosintriphosphat
IAQ	"Indoor Air Quality"
ICA	"Independent Component Analysis"
IERIE	"Inventory of European Research on the Indoor Environment"

Fortsetzung verwendete Abkürzungen

iiSBE	"International Initiative for a Sustainable Built Environment"
IR	"Infrared"
KAMINA	Karlsruhe Mikro Nase, "Karlsruhe Micro Nose"
LVQ	"Learning Vector Quantization"
MgTPP	Magnesium 5, 10, 15, 20-tetraphenylporphyrin
MRSA	"Methicillin-resistant Staphylococcus aureus"
NCTC	"National Collection of Type Cultures"
NN	"Neural Network", Neuronales Netzwerk
Nr.	Nummer
NWs	"Nanowires"
OD	"Odorants"
ORNs	"Olfactory Receptor Neurons"
PCA	"Principal Component Analysis", Hauptkomponentenanalyse
PLS	"Partial Least Squares"
PNN	"Probabilistic Neural Network"
QCM	"Quartz Crystal Microbalance", (gemäß Zitat (in 1.5.3): "QMC - Quartz Micro Balance")
R	"Receptor"
RBF	"Radial Basis Function"
SAW	"Surface Acoustic Wave"
SBIS	"Sustainable Building Information System"
STFT	"Short-Time Fourier Transform"
SysPAQ	"Innovative Sensor System for Measuring Perceived Air Quality and Brand Specific Odours"
u.a.	unter anderem
UV/Vis	"Ultraviolet-Visible"
VOCs	"Volatile Organic Compounds", Substanzklassen der Flüchtigen Organischen Verbindungen (FOVs)
WWW	"World Wide Web"
z.B.	zum Beispiel

Schlüsselbegriffe

Eine Auswahl an Schlüsselbegriffen ("key words") zur Thematik Elektronische Nasen werden in der Folge angeführt:

"electronic nose", "artificial chemical sensing system", "artificial nose", "artificial olfaction system", "automatic sniffer", "e-natural olfactory sensor emulator", "gas sensor micro array", "human panel", "machine olfaction device", "multigas sensor", "smell detection", "smell sensor", "flavor" bzw. "flavour", "gas", "gaseous precursors", "hazards", "indoor air agents", "malodor" bzw. "malodour", "odor" bzw. "odour", "particulate matter", "pollutants", "scents", "smell", "substances", "vapour", "volatile organic compounds" (VOCs).

Weitere "key words" sind in dem selbst erstellten Suchinstrument (E-Nase-db 2009) teilweise in den Feldern "key-words_publication" und "key-words_further-source_s" genannt.

Anhang I

ad 1.4 Historischer Hintergrund:

Auf den folgenden beiden Seiten dienen zwei "screenshots" (Abb. Anhang I-1, Abb. Anhang I-2) der Darstellung eines ausführlichen Vergleiches von Forschergruppen, Sensoren und Mustererkennungsmethoden der verschiedenen entwickelten E-Nasen, den status quo von 1997 repräsentierend (Pearce 1997b). "The main studies carried out in this area are shown under each research group, or individual. For each system, the following information is provided: The number of sensing channels used in the study (No. of channels), the type of pre-processing model used (Type) and whether normalisation of data was carried out (Norm.), the type of pattern recognition (PARC) technique used and which applications were studied." (Pearce 1997b, p. 74)

Verwendete Abkürzungen (Abb. Anhang I-1, Abb. Anhang I-2) sind in der Folge erklärt. "Pre-processing type; Logarithm, L; Difference, D; Fractional, F; Relative, R. Pre-processing normalisation: S, sensor normalisation; A, array normalisation. Pattern recognition techniques: Fuzzy reasoning, FUZ; Discriminant function analysis, DFA; Linear regression, LR; Least squares, LS; Principal components analysis, PCA; Cluster analysis, CA; Multi-layer perceptron, MLP; Fuzzy learning vector quantisation, FLVQ; Kohonen network, KOH; Feature weighting, FW; Bayes classifier, BAY; K-nearest-neighbour, KNN. Applications: Simple odours, SO; Beverages, BV; Wines, WI; Beers, BE; Spirits, SP; Coffee, CO; Cheese, CH; Perfumes, PE; Meat, ME; Grains, GR; Fish, FI; Tobaccos, TO († - Thin-film metal oxide semiconductor devices)." (Pearce 1997b, p. 74)

Table 2
Review of electronic nose systems classified by sensor array type

Array type	Group, country	No. of channels	Pre-processing		PARC	Applications	Refs.
			Type	Norm.			
Sintered metal oxide chemoresistors	Warwick, UK	3				SO	Persaud and Dodd, 1982
					LR, FW	SO, TO	Shumer et al., 1989
					LS	SO, CO	Shumer et al., 1990; Gardner et al., 1992a
		12	DFR	A	PCA, CA	SO, BV	Gardner, 1991
			LDPR	S	MLP	SO, BE	Gardner et al., 1990a; Gardner et al., 1992b
							Walmsley et al., 1991
	Warwick, UK	3†	D		PCA, CA, LS	SO	Walmsley et al., 1991
			FR	S	MLP, KOH	WI	Corcoran and Lowery, 1995
		6	RD	A	LS	SO	Hoffheins, 1989; Hoffheins and Lauf, 1988
						SO	Wang et al., 1993a
					MLP, LS	SO	Wang et al., 1993b
Organic polymers on chemoresistors	Warwick, UK	6		A	LS	SO	Ikegami and Kaneyasu, 1985; Kaneyasu et al., 1987
		7–8	IR	A	IR, PCA, CA	SO	Abe et al., 1987; Abe et al., 1988
			D	S	CL, PCA, DFA	SP, CO	Ashima, 1991a; Ashima, 1991b
			D		MLP	SO	Nakamoto et al., 1992
	UMIST, UK	6				FI	Egashira et al., 1990
					KOH	SO	Davide et al., 1994
			D			FI	Ölafsson et al., 1992
		3	D		FUZ	SO	Yea et al., 1994
On SAW devices	Warwick, UK	12	F	A	LS, CA	BE	Pearce et al., 1993
		18–24	F	S	LS, MLP	BE	Pearce and Gardner, 1993; Gardner et al., 1994
	UMIST, UK	5				SO	Persaud and Pelosi, 1985; Pelosi and Persaud, 1988
		20–32	D	A	PCA, BAY MLP	CH, SO	Hatfield et al., 1994; Persaud, 1992; Pisanelli et al., 1994; Persaud and Pelosi, 1992
On SAW devices	Slater et al.	4	R	A	PCA	SP	Slater et al., 1993
			F		MLP	SO	Barker et al., 1994
	Ballantine et al.	12					
			R				Ballantine et al., 1986; Rose-Pehrsson et al., 1988; Rose-Pehrsson and Grate, 1993

Abb. Anhang I-1: Status quo von Elektronischen Nasen im Jahr 1997 (Pearce 1997b, p. 73).

Table 2 (continued)

Array type	Group, country	No. of channels	Pre-processing		PARC	Applications	Refs.
			Type	Norm.			
Lipid layers on piezoelectric crystals	Nakamoto and Morizumi	8		A	MLP, PCA, FLVQ	SP, PE, SO	Nakamoto et al., 1993; Sakuraba et al., 1990; Ide et al., 1993; Ena et al., 1989; Nakamoto et al., 1991, 1990
	Muramatsu	4	D	S		SO	Muramatsu et al., 1989
	Yokoyama et al.	8			PCA, CA	SO	Yokoyama and Ebisawa, 1993
	Okahata et al.	6	D			SO	Okahata and Shimizu, 1987; Okahata et al., 1990
On SAW devices	Ohnishi et al.	6	D			PE	Ohnishi et al., 1992
	Chang et al.	4	D	AS		SO	Chang et al., 1991
MOSFETs	Linköping, Sweden	10			MLP, KOH	ME	Winqvist et al., 1993
		324	D			SO	Lundström et al., 1991
Electrochemical cells	Stetter et al.	2–18		A	KNN	GR	Stetter et al., 1986; Stetter et al., 1993
	Göpel et al.	8			PCA, PCR, LS	FI	Schweizer-Berberich et al., 1994

The main studies carried out in this area are shown under each research group, or individual. For each system, the following information is provided: The number of sensing channels used in the study (No. of channels), the type of pre-processing model used (Type) and whether normalisation of data was carried out (Norm.). See Section 4 for a full description of pre-processing techniques. Pre-processing type: Logarithm, L; Difference, D; Fractional, F; Relative, R. Pre-processing normalisation: S, sensor normalisation; A, array normalisation. Pattern recognition techniques: Fuzzy reasoning, FUZ; Discriminant function analysis, DFA; Linear regression, LR; Least squares, LS; Principal components analysis, PCA; Cluster analysis, CA; Multi-layer perceptron, MLP; Fuzzy learning vector quantisation, FLVQ; Kohonen network, KOH; Feature weighting, FW; Bayes classifier, BAY; K-nearest-neighbour, KNN. Applications: Simple odours, SO; Beverages, BV; Wines, WI; Beers, BE; Spirits, SP; Coffee, CO; Cheese, CH; Perfumes, PE; Meat, ME; Grains, GR; Fish, FI; Tobaccos, TO (†—Thin-film metal oxide semiconductor devices).

Abb. Anhang I-2: Status quo von Elektronischen Nasen im Jahr 1997 (Fortsetzung) (Pearce 1997b, p. 74).

Anhang II

ad 3.3.2 Detektion der Emissionen von Baumaterialien und Einrichtungsgegenständen mittels Elektronischer Nasen:

Im Rahmen des SysPAQ-Projektes beteiligte Institutionen sind im Folgenden aufgelistet (Müller et al. 2008b).

- i) Technical University of Berlin, Hermann-Rietschel-Institut;
- ii) Danish Building Research Institute, Aalborg University;
- iii) Technical University of Denmark;
- iv) Karolinska Institute;
- v) Centre Scientifique et Technique du Bâtiment;
- vi) Forschungszentrum Karlsruhe;
- vii) Federal Institute for Materials Research and Testing;
- viii) REGIENOV, Renault;
- ix) Alpha MOS;
- x) Halton OY;
- xi) RWTHA Aachen, E.ON Energy Research Centre.

Anhang III

Im Folgenden wird ein exemplarisch gewählter Auszug aus dem selbst erstellten Suchinstrument (E-Nase-db 2009) angeführt. Abb. Anhang III-1 bis Abb. Anhang III-24 zeigen jeweils auf der Basis Objekt Berichte, dem Prototyp 1 (E-Nase-db 2009) hinzugefügt, ausgewählte Datensätze und jeweils nochmals hervorgehoben, die Felder "author_s", "title" und "abstract" in Textform im Anschluss an den jeweiligen "screenshot".

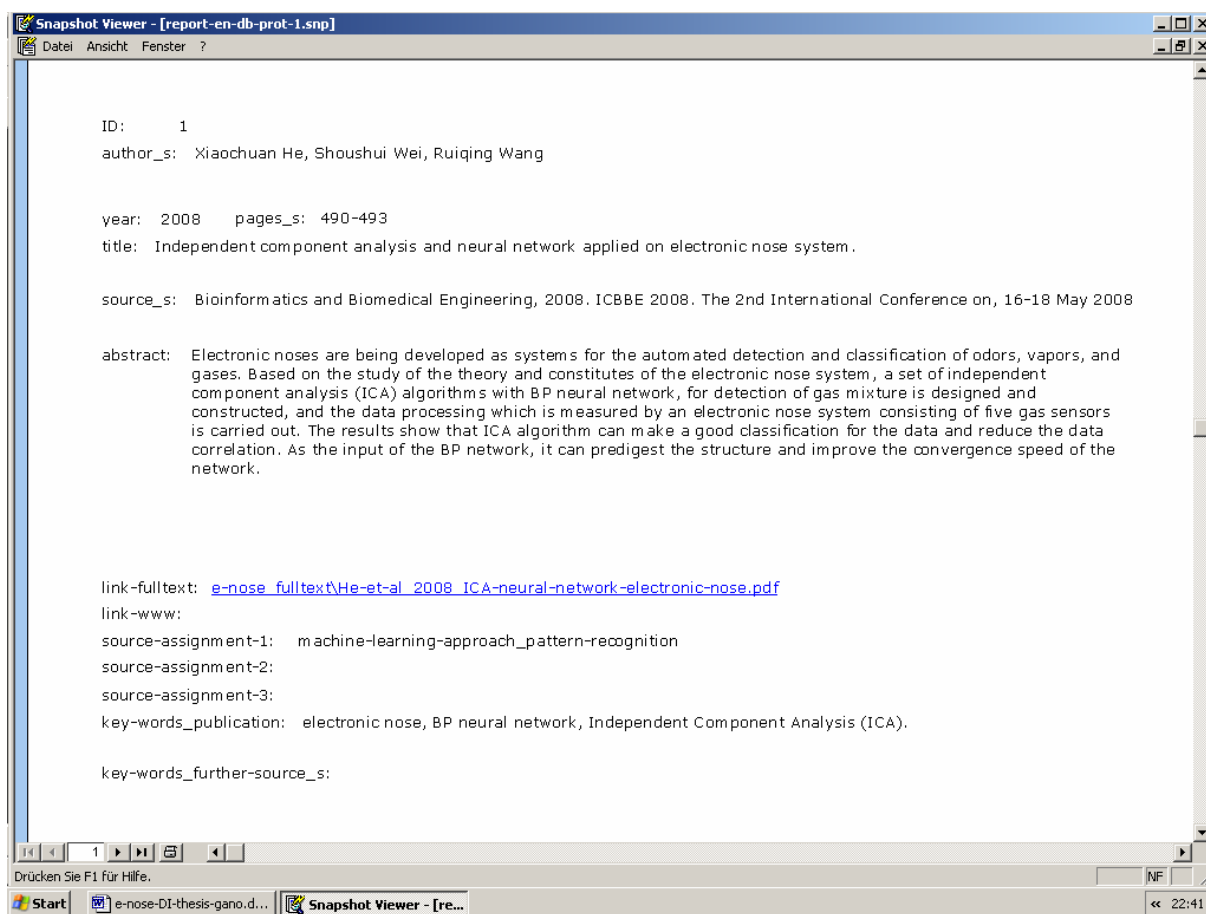


Abb. Anhang III-1: "screenshot", "record" "ID" 1 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Xiaochuan He, Shoushui Wei, Ruiqing Wang

"title": "Independent component analysis and neural network applied on electronic nose system."

"abstract": "Electronic noses are being developed as systems for the automated detection and classification of odors, vapors, and gases. Based on the study of the theory and constitutes of the electronic nose system, a set of independent component analysis (ICA) algorithms with BP neural network, for detection of gas mixture is designed and constructed, and the data processing which is measured by an electronic nose system consisting of five gas sensors is carried out. The results show that ICA algorithm can make a good classification for the data and reduce the data correlation. As the input of the BP network, it can predigest the structure and improve the convergence speed of the network."

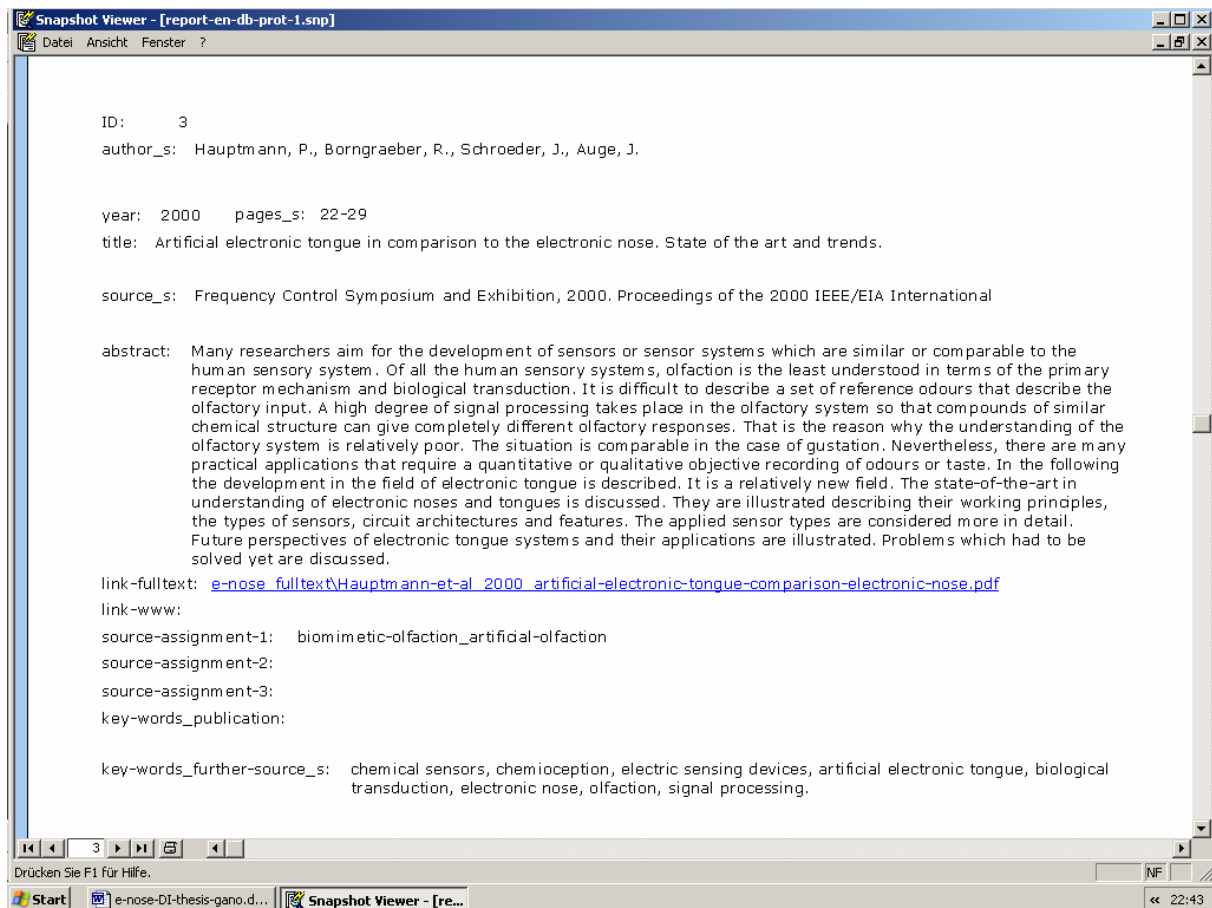


Abb. Anhang III-2: "screenshot", "record" "ID" 3 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Hauptmann, P., Borngraeber, R., Schroeder, J., Auge, J.

"title": "Artificial electronic tongue in comparison to the electronic nose. State of the art and trends."

"abstract": "Many researchers aim for the development of sensors or sensor systems which are similar or comparable to the human sensory system. Of all the human sensory systems, olfaction is the least understood in terms of the primary receptor mechanism and biological transduction. It is difficult to describe a set of reference odours that describe the olfactory input. A high degree of signal processing takes place in the olfactory system so that compounds of similar chemical structure can give completely different olfactory responses. That is the reason why the understanding of the olfactory system is relatively poor. The situation is comparable in the case of gustation. Nevertheless, there are many practical applications that require a quantitative or qualitative objective recording of odours or taste. In the following the development in the field of electronic tongue is described. It is a relatively new field. The state-of-the-art in understanding of electronic noses and tongues is discussed. They are illustrated describing their working principles, the types of sensors, circuit architectures and features. The applied sensor types are considered more in detail. Future perspectives of electronic tongue systems and their applications are illustrated. Problems which had to be solved yet are discussed."

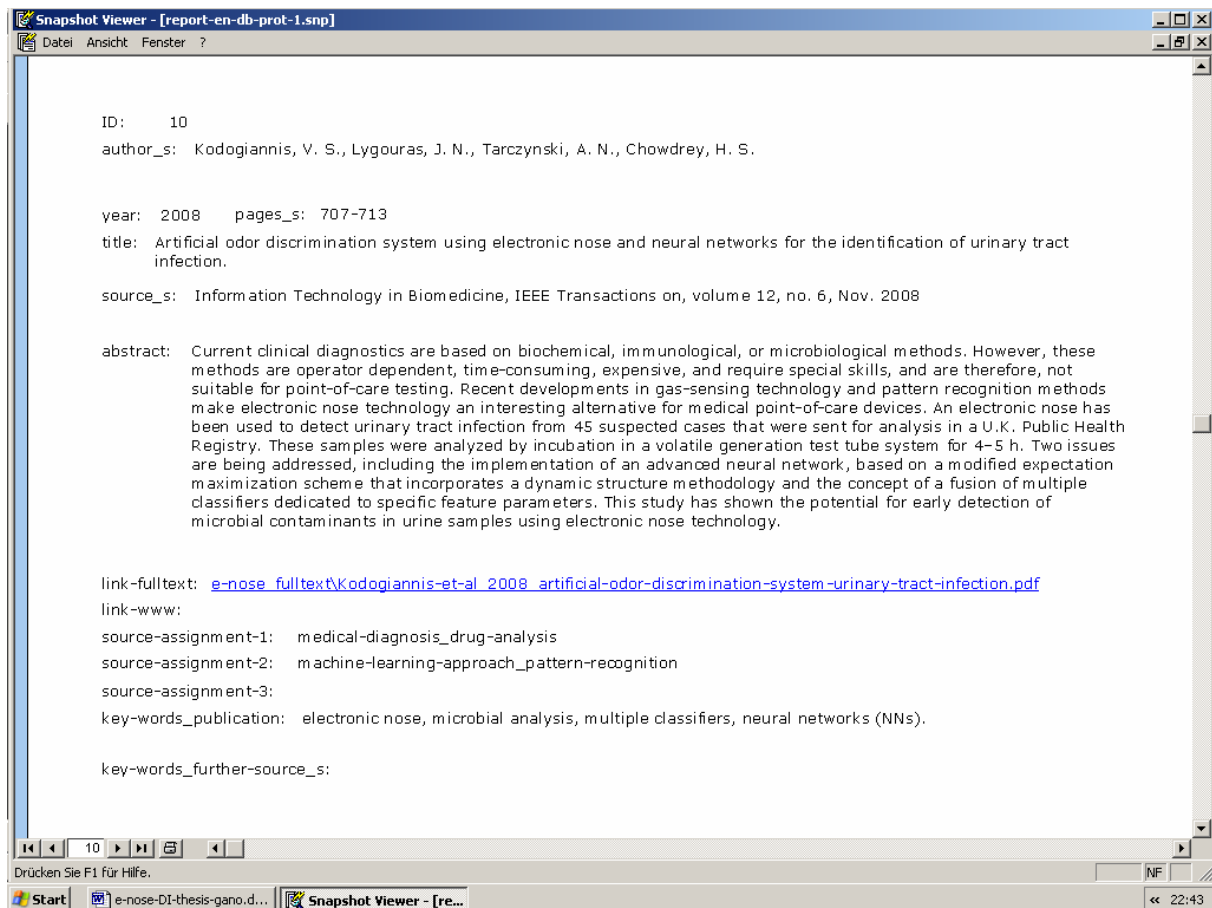


Abb. Anhang III-3: "screenshot", "record" "ID" 10 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Kodogiannis, V. S., Lygouras, J. N., Tarczynski, A. N., Chowdrey, H. S.

"title": "Artificial odor discrimination system using electronic nose and neural networks for the identification of urinary tract infection."

"abstract": "Current clinical diagnostics are based on biochemical, immunological, or microbiological methods. However, these methods are operator dependent, time-consuming, expensive, and require special skills, and are therefore, not suitable for point-of-care testing. Recent developments in gas-sensing technology and pattern recognition methods make electronic nose technology an interesting alternative for medical point-of-care devices. An electronic nose has been used to detect urinary tract infection from 45 suspected cases that were sent for analysis in a U.K. Public Health Registry. These samples were analyzed by incubation in a volatile generation test tube system for 4-5 h. Two issues are being addressed, including the implementation of an advanced neural network, based on a modified expectation maximization scheme that incorporates a dynamic structure methodology and the concept of a fusion of multiple classifiers dedicated to specific feature parameters. This study has shown the potential for early detection of microbial contaminants in urine samples using electronic nose technology."



Abb. Anhang III-4: "screenshot", "record" "ID" 17 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Xiaojun Zhang, Minglu Zhang, Jianguang Sun, Chunyan He

"title": "Design of a bionic electronic nose for robot."

"abstract": "The robot assembled electronic nose has extensive applications, such as detecting toxic gases, searching explosives, detecting leakage, etc. Following the robot modular design concept, the paper designs a bionic electronic nose for robot, which has a human-like nasal cavity structure. It can simultaneously detect five kinds of different toxic gases, namely, CO, SO₂, H₂S, Cl₂ and NH₃, by using of electrochemical gas sensor array. The electrochemical gas sensor only responds to the specific gas, and has good selectivity and linear output, so the electronic nose dispenses with the pattern recognition algorithm in measuring multi-type gases simultaneously, which greatly reduces the operation task of olfactory system and improves the detection accuracy and efficiency to meet the robotpsilas real-time requirement, and can be conveniently changed corresponding gas sensors based on the target gases. By virtue of the compact structure, simple mechanical interface and communication interface, not only can the bionic electronic nose be used as a standardized component for all types of robots to help them to accomplish works related to olfaction, but also as a portable electronic nose applied to detect toxic gas in many fields."

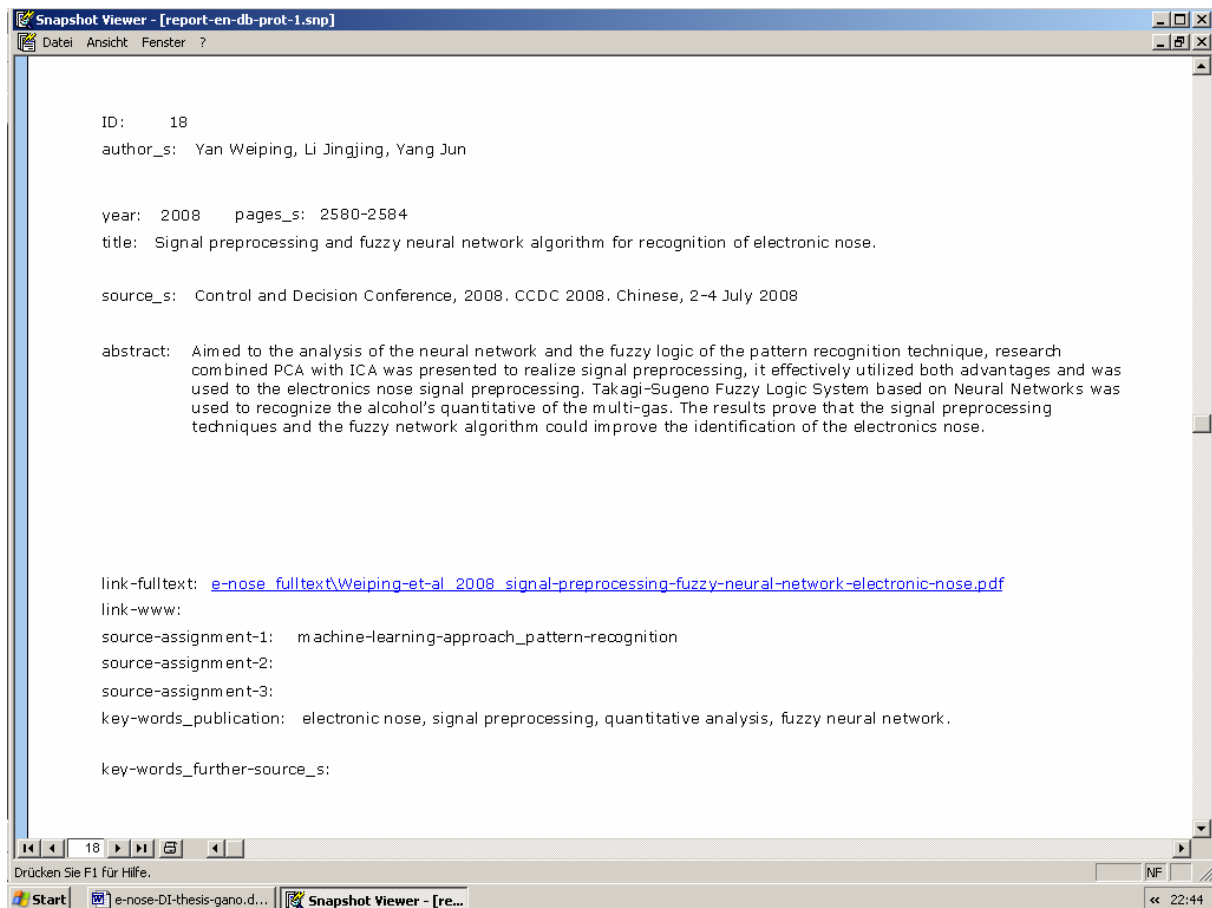


Abb. Anhang III-5: "screenshot", "record" "ID" 18 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Yan Weiping, Li Jingjing, Yang Jun

"title": "Signal preprocessing and fuzzy neural network algorithm for recognition of electronic nose."

"abstract": "Aimed to the analysis of the neural network and the fuzzy logic of the pattern recognition technique, research combined PCA with ICA was presented to realize signal preprocessing, it effectively utilized both advantages and was used to the electronics nose signal preprocessing. Takagi-Sugeno Fuzzy Logic System based on Neural Networks was used to recognize the alcohol's quantitative of the multi-gas. The results prove that the signal preprocessing techniques and the fuzzy network algorithm could improve the identification of the electronics nose."



Abb. Anhang III-6: "screenshot", "record" "ID" 19 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Trincavelli, M., Reggente, M., Coradeschi, S., Loutfi, A., Ishida, H., Lilienthal, A.J.

"title": "Towards environmental monitoring with mobile robots."

"abstract": "In this paper we present initial experiments towards environmental monitoring with a mobile platform. A prototype of a pollution monitoring robot was set up which measures the gas distribution using an "electronic nose" and provides three dimensional wind measurements using an ultrasonic anemometer. We describe the design of the robot and the experimental setup used to run trials under varying environmental conditions. We then present the results of the gas distribution mapping. The trials which were carried out in three uncontrolled environments with very different properties: an enclosed indoor area, a part of a long corridor with open ends and a high ceiling, and an outdoor scenario are presented and discussed."

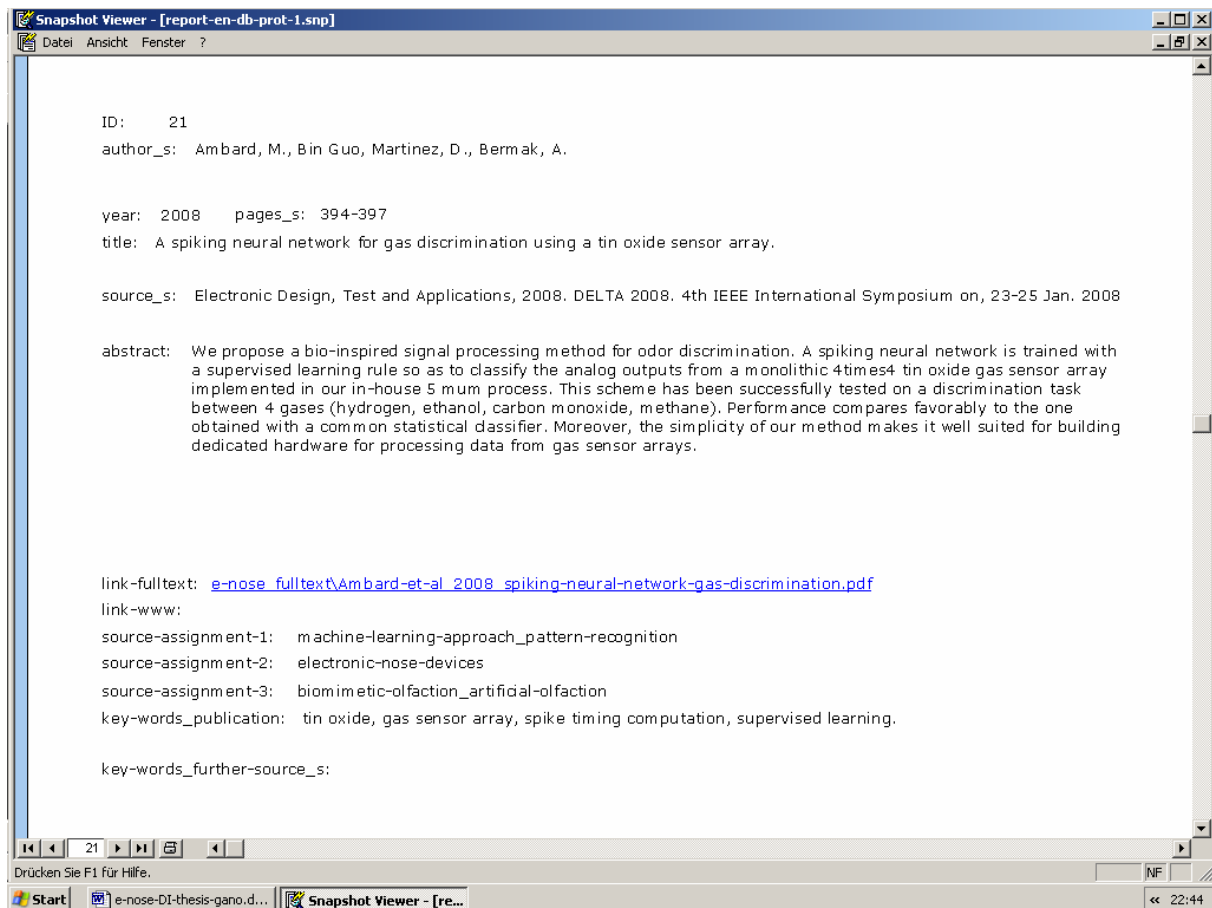


Abb. Anhang III-7: "screenshot", "record" "ID" 21 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Ambard, M., Bin Guo, Martinez, D., Bermak, A.

"title": "A spiking neural network for gas discrimination using a tin oxide sensor array."

"abstract": "We propose a bio-inspired signal processing method for odor discrimination. A spiking neural network is trained with a supervised learning rule so as to classify the analog outputs from a monolithic 4 times 4 tin oxide gas sensor array implemented in our in-house 5 μ m process. This scheme has been successfully tested on a discrimination task between 4 gases (hydrogen, ethanol, carbon monoxide, methane). Performance compares favorably to the one obtained with a common statistical classifier. Moreover, the simplicity of our method makes it well suited for building dedicated hardware for processing data from gas sensor arrays."

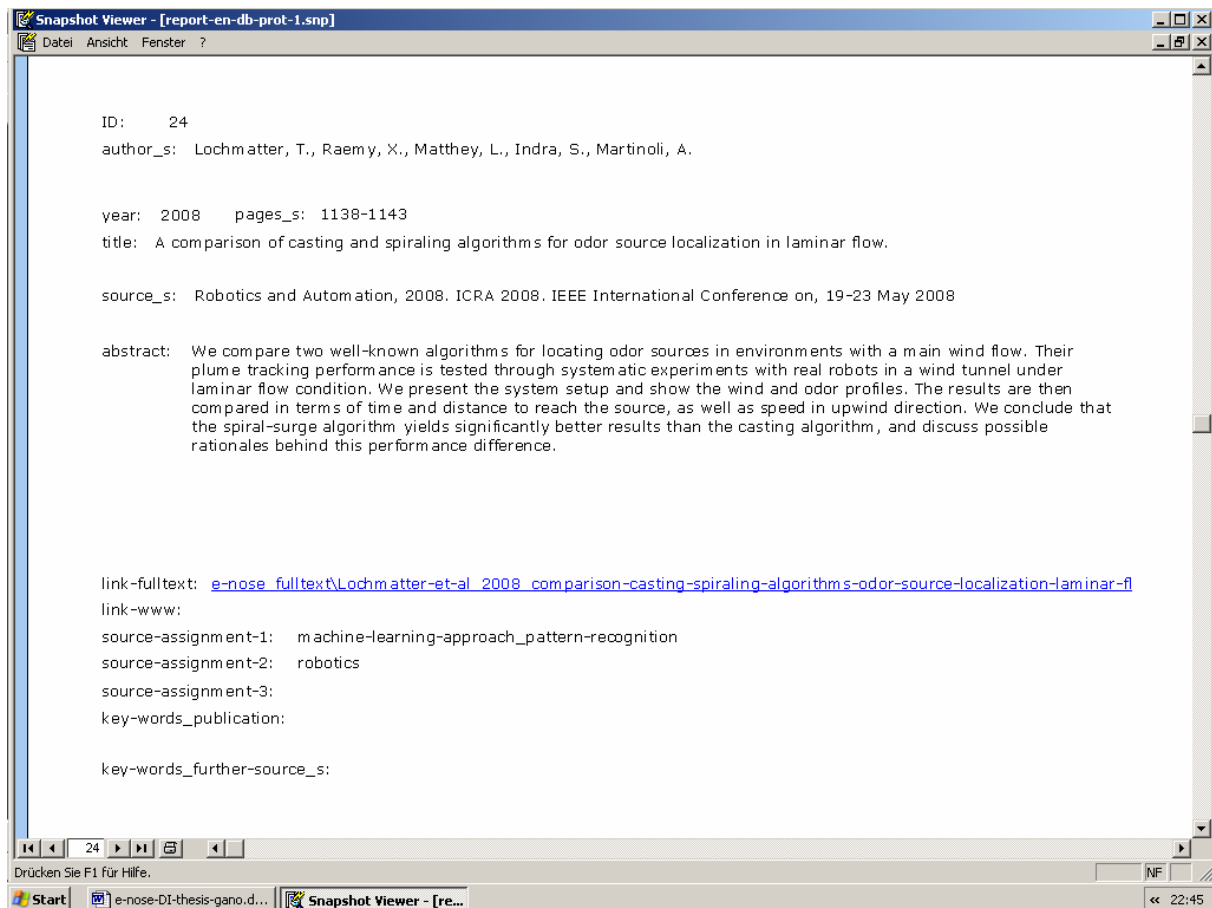


Abb. Anhang III-8: "screenshot", "record" "ID" 24 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Lochmatter, T., Raemy, X., Matthey, L., Indra, S., Martinoli, A.

"title": "A comparison of casting and spiraling algorithms for odor source localization in laminar flow."

"abstract": "We compare two well-known algorithms for locating odor sources in environments with a main wind flow. Their plume tracking performance is tested through systematic experiments with real robots in a wind tunnel under laminar flow condition. We present the system setup and show the wind and odor profiles. The results are then compared in terms of time and distance to reach the source, as well as speed in upwind direction. We conclude that the spiral-surge algorithm yields significantly better results than the casting algorithm, and discuss possible rationales behind this performance difference."

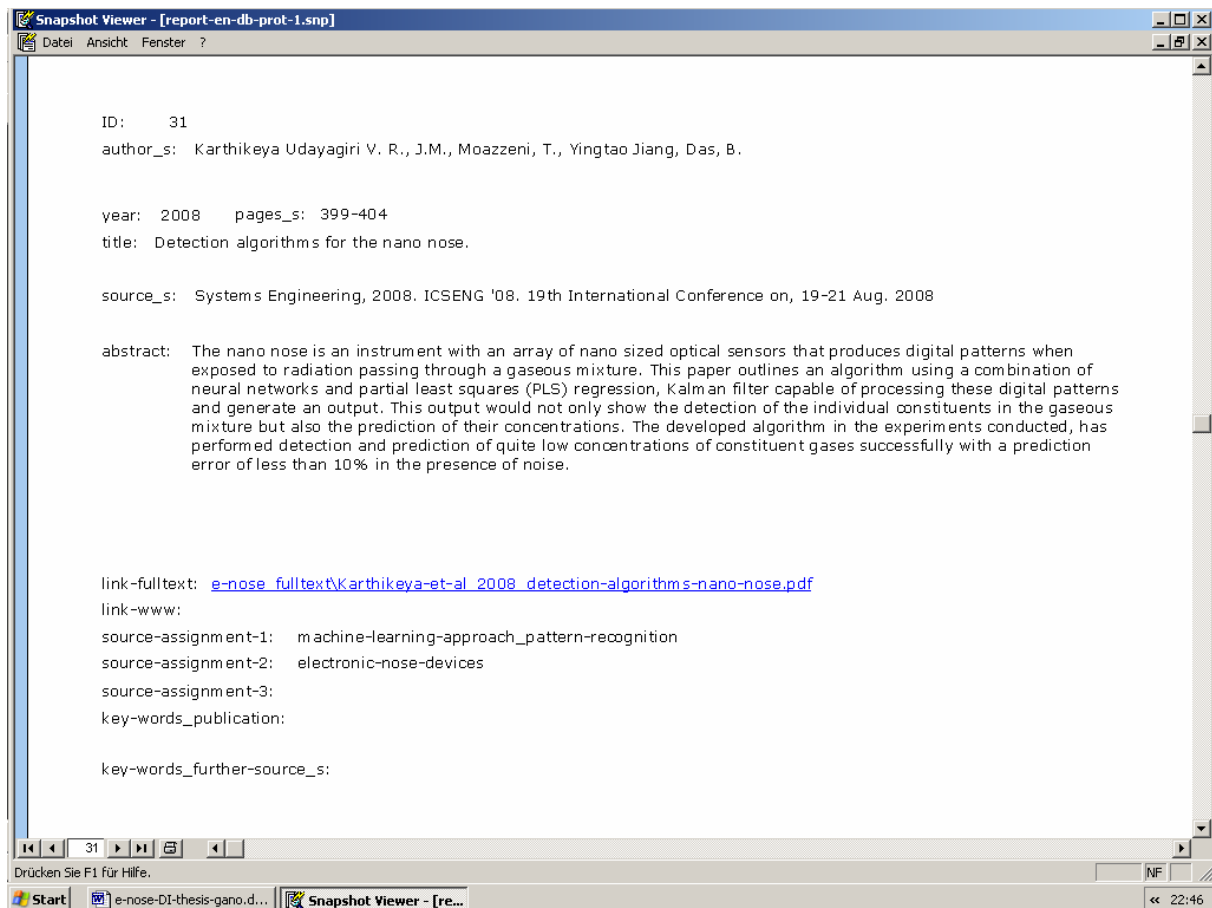


Abb. Anhang III-9: "screenshot", "record" "ID" 31 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Karthikeya Udayagiri V. R., J.M., Moazzeni, T., Yingtao Jiang, Das, B.

"title": "Detection algorithms for the nano nose."

"abstract": "The nano nose is an instrument with an array of nano sized optical sensors that produces digital patterns when exposed to radiation passing through a gaseous mixture. This paper outlines an algorithm using a combination of neural networks and partial least squares (PLS) regression, Kalman filter capable of processing these digital patterns and generate an output. This output would not only show the detection of the individual constituents in the gaseous mixture but also the prediction of their concentrations. The developed algorithm in the experiments conducted, has performed detection and prediction of quite low concentrations of constituent gases successfully with a prediction error of less than 10% in the presence of noise."

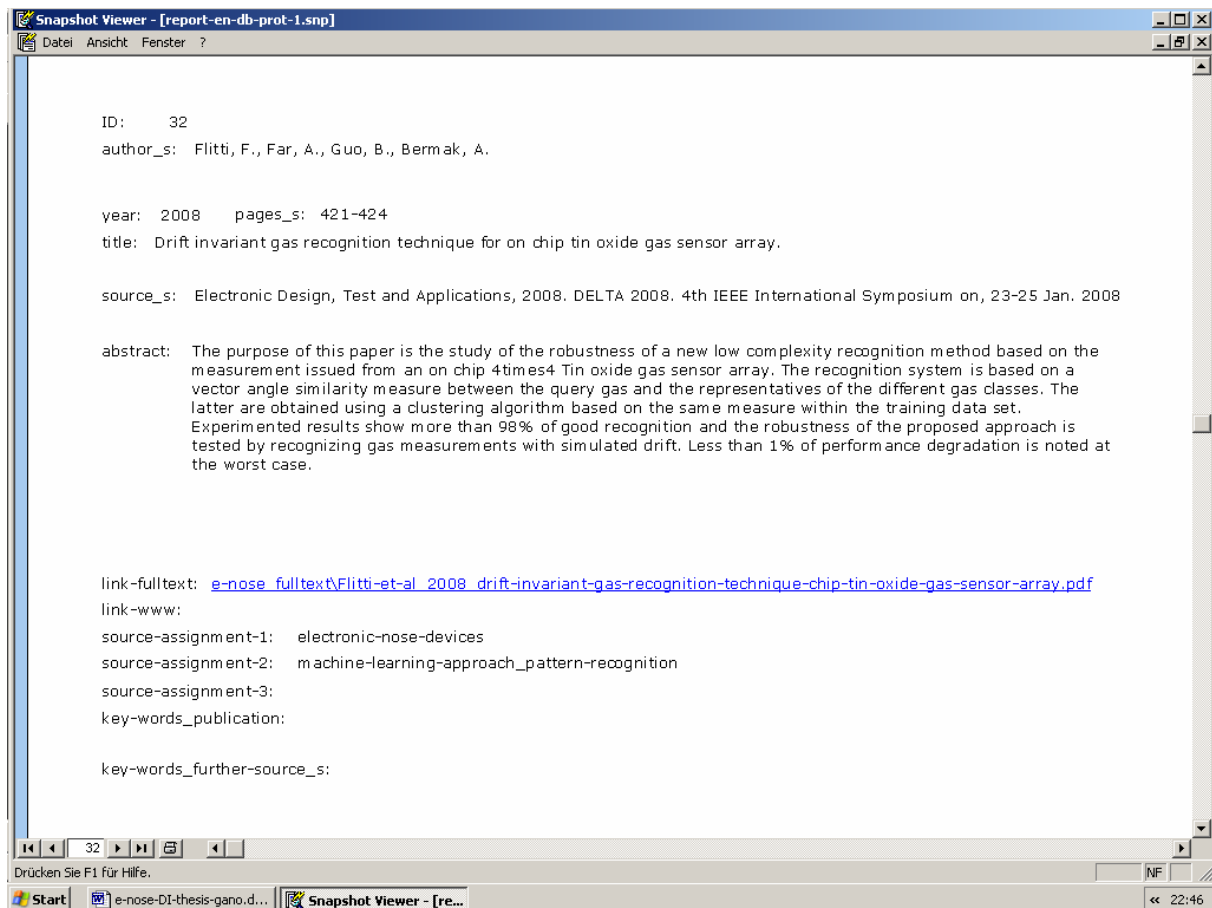


Abb. Anhang III-10: "screenshot", "record" "ID" 32 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Flitti, F., Far, A., Guo, B., Bermak, A.

"title": "Drift invariant gas recognition technique for on chip tin oxide gas sensor array."

"abstract": "The purpose of this paper is the study of the robustness of a new low complexity recognition method based on the measurement issued from an on chip 4 times 4 Tin oxide gas sensor array. The recognition system is based on a vector angle similarity measure between the query gas and the representatives of the different gas classes. The latter are obtained using a clustering algorithm based on the same measure within the training data set. Experimented results show more than 98% of good recognition and the robustness of the proposed approach is tested by recognizing gas measurements with simulated drift. Less than 1% of performance degradation is noted at the worst case."

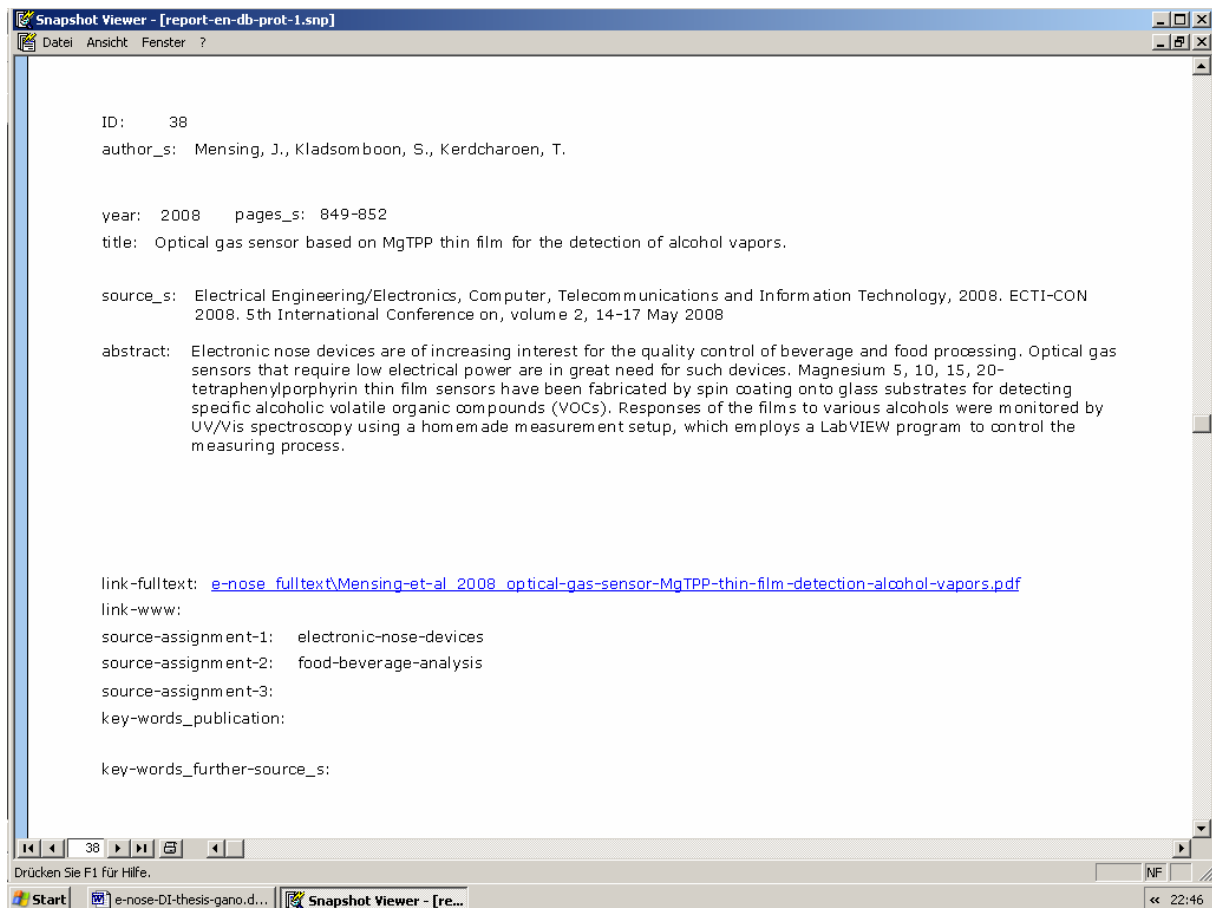


Abb. Anhang III-11: "screenshot", "record" "ID" 38 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Mensing, J., Kladsomboon, S., Kerdcharoen, T.

"title": "Optical gas sensor based on MgTPP thin film for the detection of alcohol vapors."

"abstract": "Electronic nose devices are of increasing interest for the quality control of beverage and food processing. Optical gas sensors that require low electrical power are in great need for such devices. Magnesium 5, 10, 15, 20-tetraphenylporphyrin thin film sensors have been fabricated by spin coating onto glass substrates for detecting specific alcoholic volatile organic compounds (VOCs). Responses of the films to various alcohols were monitored by UV/Vis spectroscopy using a homemade measurement setup, which employs a LabVIEW program to control the measuring process."

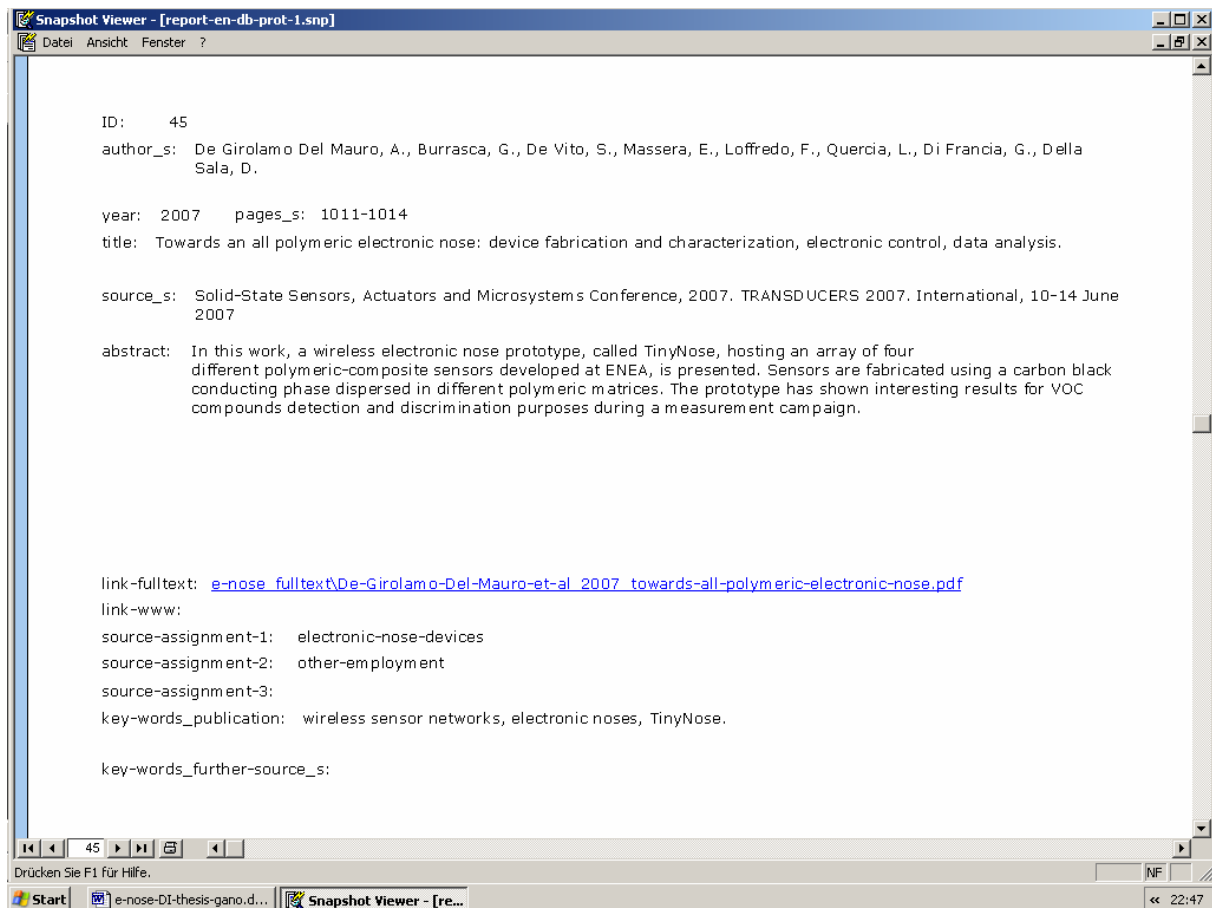


Abb. Anhang III-12: "screenshot", "record" "ID" 45 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": De Girolamo Del Mauro, A., Burrasca, G., De Vito, S., Massera, E., Loffredo, F., Quercia, L., Di Francia, G., Della Sala, D.

"title": "Towards an all polymeric electronic nose: device fabrication and characterization, electronic control, data analysis."

"abstract": "In this work, a wireless electronic nose prototype, called TinyNose, hosting an array of four different polymeric-composite sensors developed at ENEA, is presented. Sensors are fabricated using a carbon black conducting phase dispersed in different polymeric matrices. The prototype has shown interesting results for VOC compounds detection and discrimination purposes during a measurement campaign."

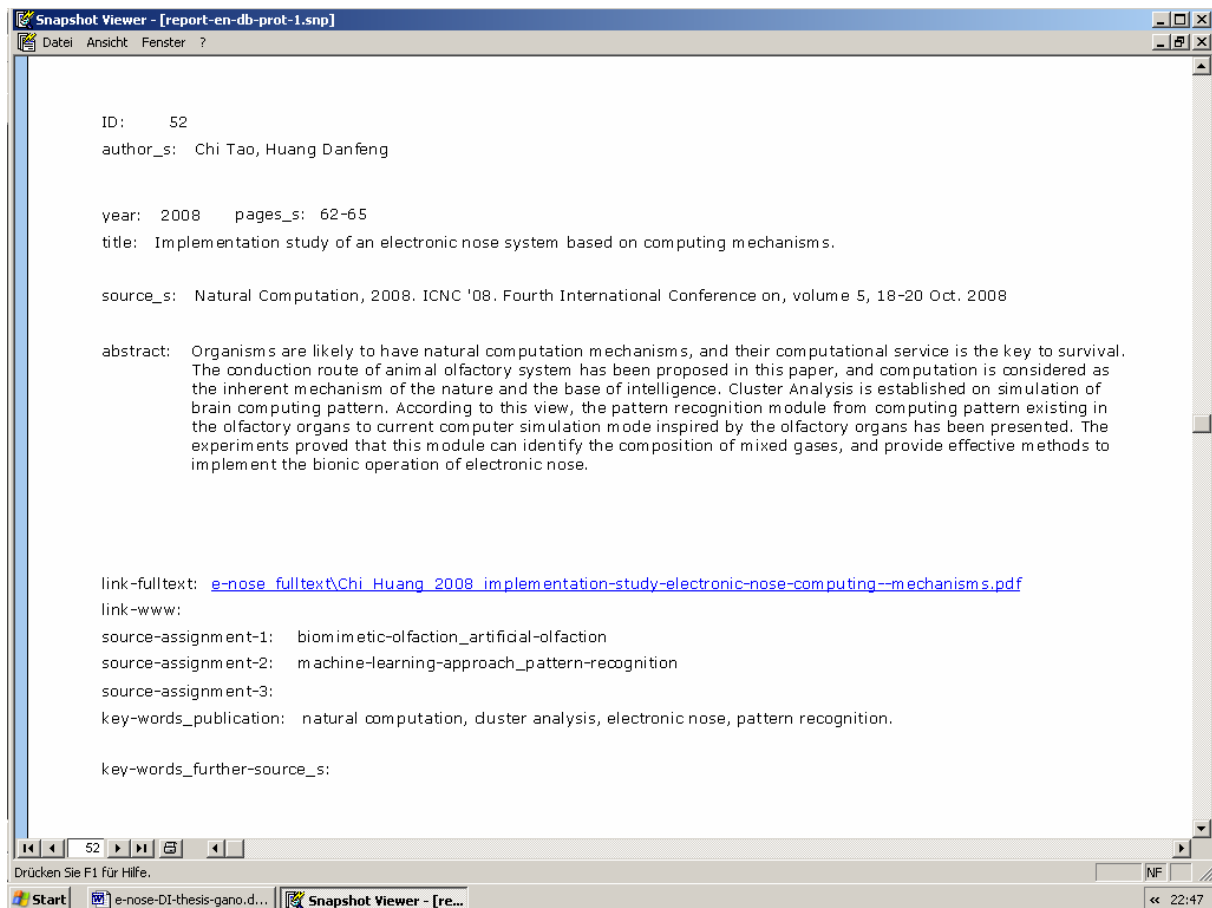


Abb. Anhang III-13: "screenshot", "record" "ID" 52 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Chi Tao, Huang Danfeng

"title": "Implementation study of an electronic nose system based on computing mechanisms."

"abstract": "Organisms are likely to have natural computation mechanisms, and their computational service is the key to survival. The conduction route of animal olfactory system has been proposed in this paper, and computation is considered as the inherent mechanism of the nature and the base of intelligence. Cluster Analysis is established on simulation of brain computing pattern. According to this view, the pattern recognition module from computing pattern existing in the olfactory organs to current computer simulation mode inspired by the olfactory organs has been presented. The experiments proved that this module can identify the composition of mixed gases, and provide effective methods to implement the bionic operation of electronic nose."

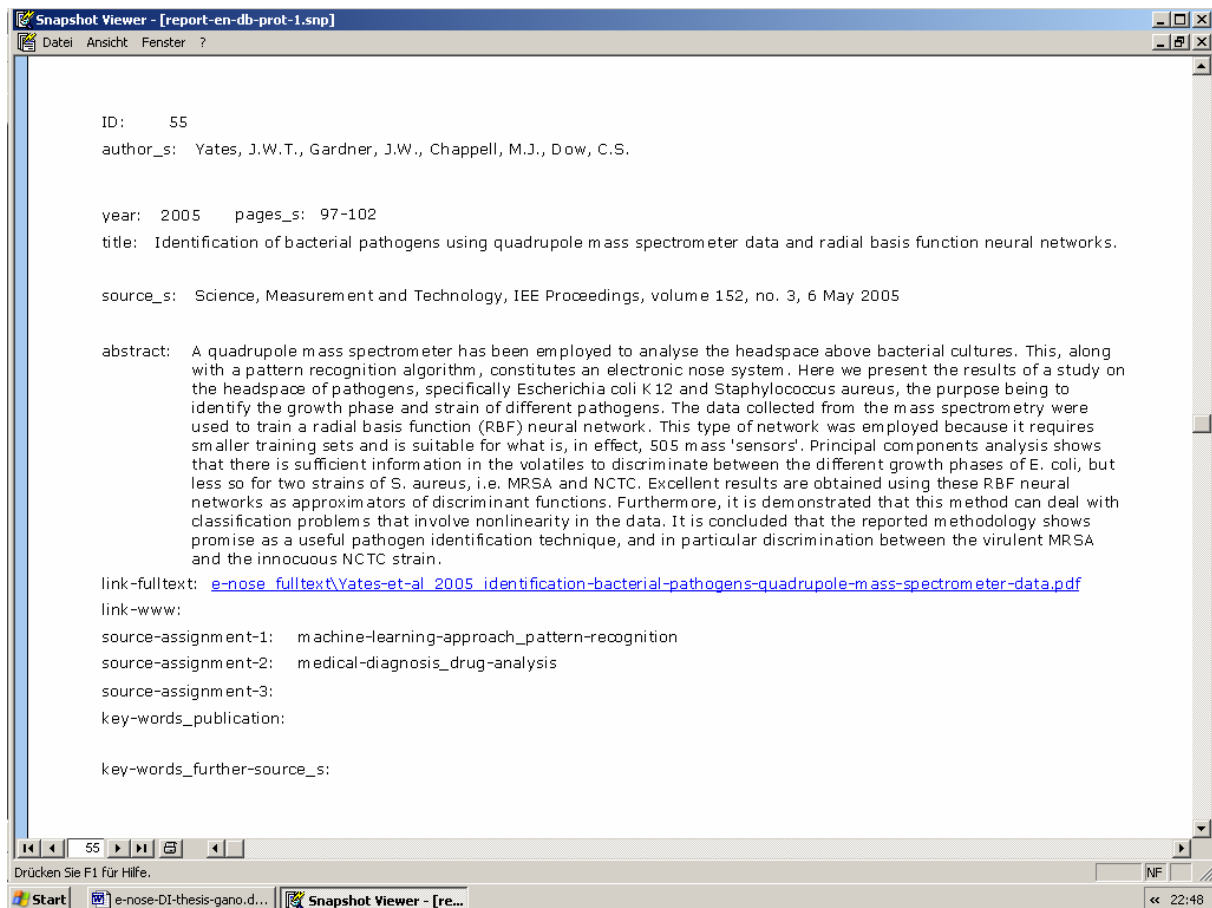


Abb. Anhang III-14: "screenshot", "record" "ID" 55 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Yates, J.W.T., Gardner, J.W., Chappell, M.J., Dow, C.S.

"title": "Identification of bacterial pathogens using quadrupole mass spectrometer data and radial basis function neural networks."

"abstract": "A quadrupole mass spectrometer has been employed to analyse the headspace above bacterial cultures. This, along with a pattern recognition algorithm, constitutes an electronic nose system. Here we present the results of a study on the headspace of pathogens, specifically *Escherichia coli* K12 and *Staphylococcus aureus*, the purpose being to identify the growth phase and strain of different pathogens. The data collected from the mass spectrometry were used to train a radial basis function (RBF) neural network. This type of network was employed because it requires smaller training sets and is suitable for what is, in effect, 505 mass 'sensors'. Principal components analysis shows that there is sufficient information in the volatiles to discriminate between the different growth phases of *E. coli*, but less so for two strains of *S. aureus*, i.e. MRSA and NCTC. Excellent results are obtained using these RBF neural networks as approximators of discriminant functions. Furthermore, it is demonstrated that this method can deal with classification problems that involve nonlinearity in the data. It is concluded that the reported methodology shows promise as a useful pathogen identification technique, and in particular discrimination between the virulent MRSA and the innocuous NCTC strain."

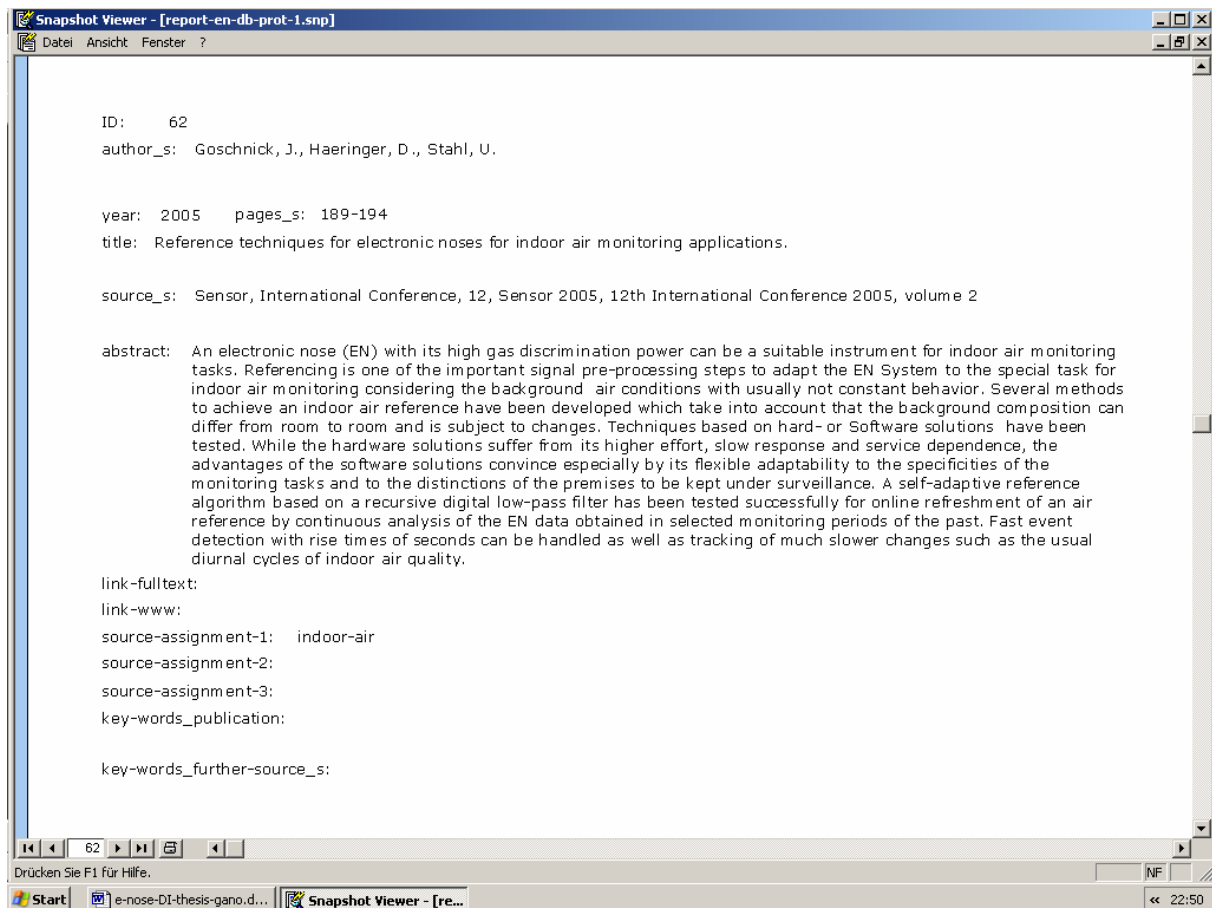


Abb. Anhang III-15: "screenshot", "record" "ID" 62 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Goschnick, J., Haeringer, D., Stahl, U.

"title": "Reference techniques for electronic noses for indoor air monitoring applications."

"abstract": "An electronic nose (EN) with its high gas discrimination power can be a suitable instrument for indoor air monitoring tasks. Referencing is one of the important signal pre-processing steps to adapt the EN System to the special task for indoor air monitoring considering the background air conditions with usually not constant behavior. Several methods to achieve an indoor air reference have been developed which take into account that the background composition can differ from room to room and is subject to changes. Techniques based on hard- or Software solutions have been tested. While the hardware solutions suffer from its higher effort, slow response and service dependence, the advantages of the software solutions convince especially by its flexible adaptability to the specificities of the monitoring tasks and to the distinctions of the premises to be kept under surveillance. A self-adaptive reference algorithm based on a recursive digital low-pass filter has been tested successfully for online refreshment of an air reference by continuous analysis of the EN data obtained in selected monitoring periods of the past. Fast event detection with rise times of seconds can be handled as well as tracking of much slower changes such as the usual diurnal cycles of indoor air quality."

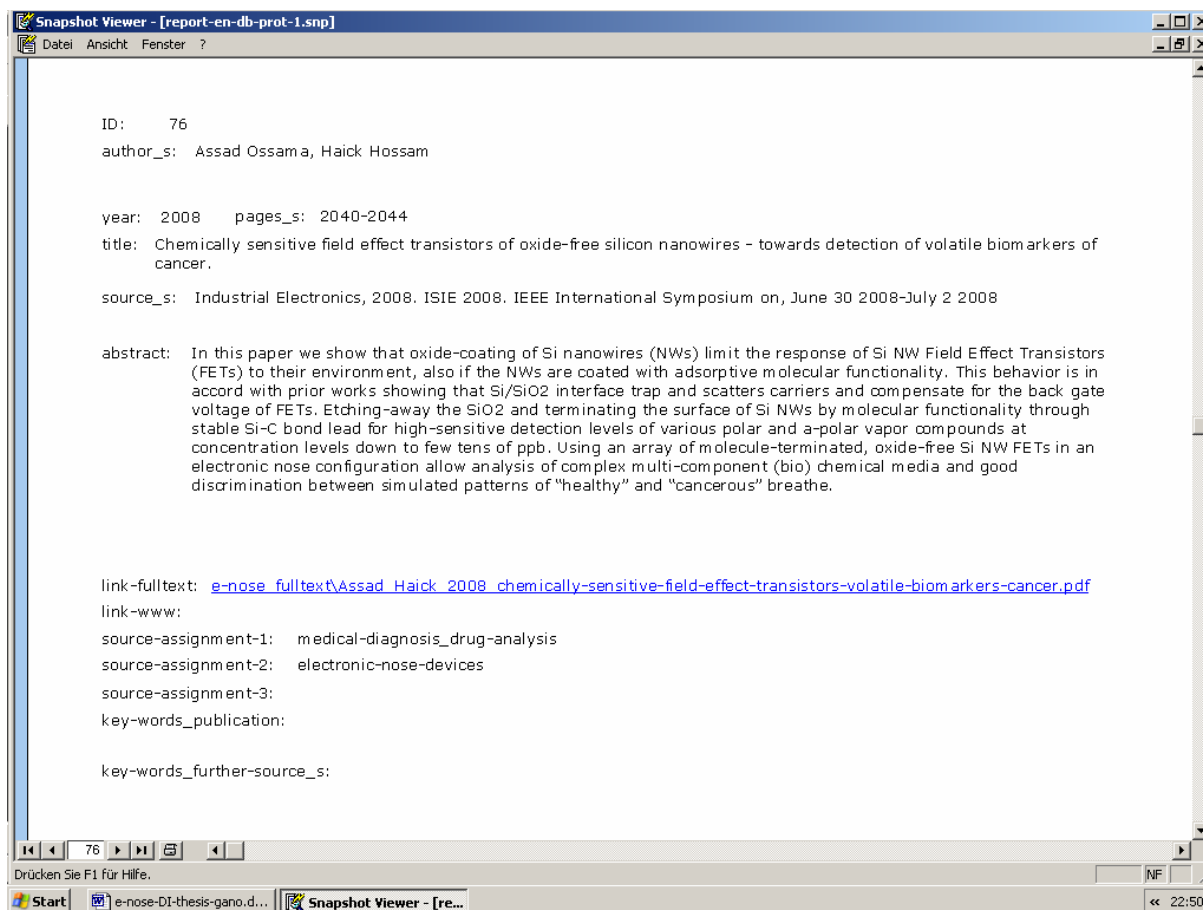


Abb. Anhang III-16: "screenshot", "record" "ID" 76 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Assad Ossama, Haick Hossam

"title": "Chemically sensitive field effect transistors of oxide-free silicon nanowires - towards detection of volatile biomarkers of cancer."

"abstract": "In this paper we show that oxide-coating of Si nanowires (NWs) limit the response of Si NW Field Effect Transistors (FETs) to their environment, also if the NWs are coated with adsorptive molecular functionality. This behavior is in accord with prior works showing that Si/SiO₂ interface trap and scatters carriers and compensate for the back gate voltage of FETs. Etching-away the SiO₂ and terminating the surface of Si NWs by molecular functionality through stable Si-C bond lead for high-sensitive detection levels of various polar and a-polar vapor compounds at concentration levels down to few tens of ppb. Using an array of molecule-terminated, oxide-free Si NW FETs in an electronic nose configuration allow analysis of complex multi-component (bio) chemical media and good discrimination between simulated patterns of "healthy" and "cancerous" breathe."

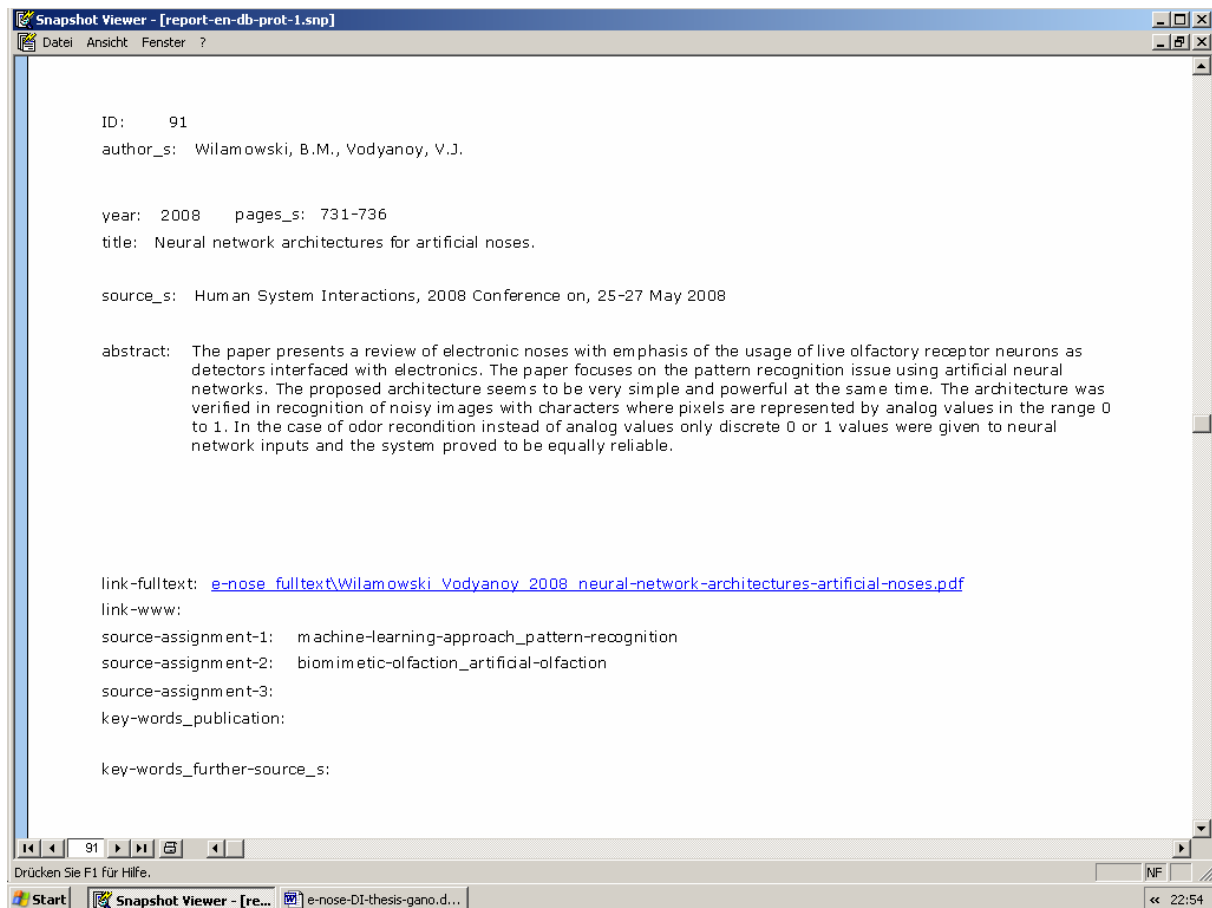


Abb. Anhang III-17: "screenshot", "record" "ID" 91 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Wilamowski, B.M., Vodyanoy, V.J.

"title": "Neural network architectures for artificial noses."

"abstract": "The paper presents a review of electronic noses with emphasis of the usage of live olfactory receptor neurons as detectors interfaced with electronics. The paper focuses on the pattern recognition issue using artificial neural networks. The proposed architecture seems to be very simple and powerful at the same time. The architecture was verified in recognition of noisy images with characters where pixels are represented by analog values in the range 0 to 1. In the case of odor recondition instead of analog values only discrete 0 or 1 values were given to neural network inputs and the system proved to be equally reliable."

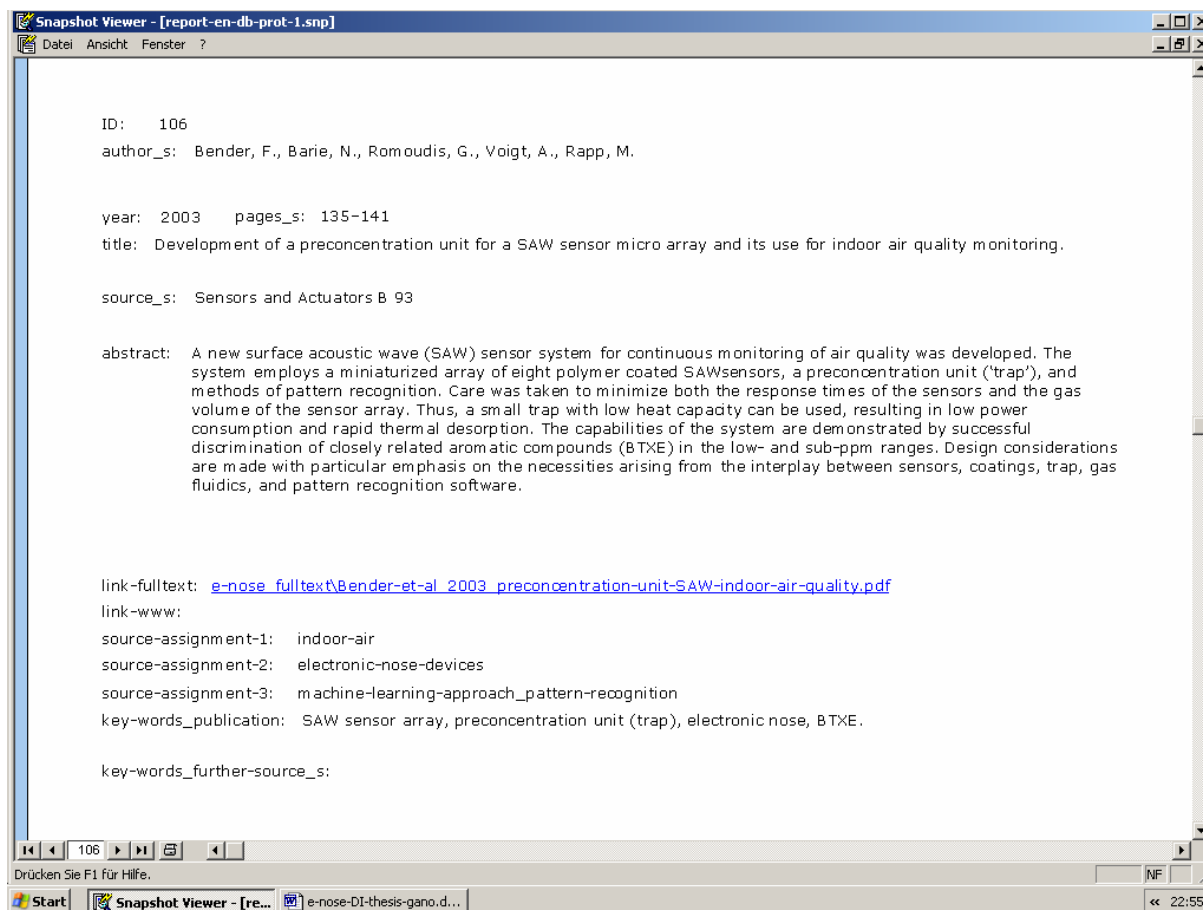


Abb. Anhang III-18: "screenshot", "record" "ID" 106 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Bender, F., Barie, N., Romoudis, G., Voigt, A., Rapp, M.

"title": "Development of a preconcentration unit for a SAW sensor micro array and its use for indoor air quality monitoring."

"abstract": "A new surface acoustic wave (SAW) sensor system for continuous monitoring of air quality was developed. The system employs a miniaturized array of eight polymer coated SAW sensors, a preconcentration unit ("trap"), and methods of pattern recognition. Care was taken to minimize both the response times of the sensors and the gas volume of the sensor array. Thus, a small trap with low heat capacity can be used, resulting in low power consumption and rapid thermal desorption. The capabilities of the system are demonstrated by successful discrimination of closely related aromatic compounds (BTXE) in the low- and sub-ppm ranges. Design considerations are made with particular emphasis on the necessities arising from the interplay between sensors, coatings, trap, gas fluidics, and pattern recognition software."

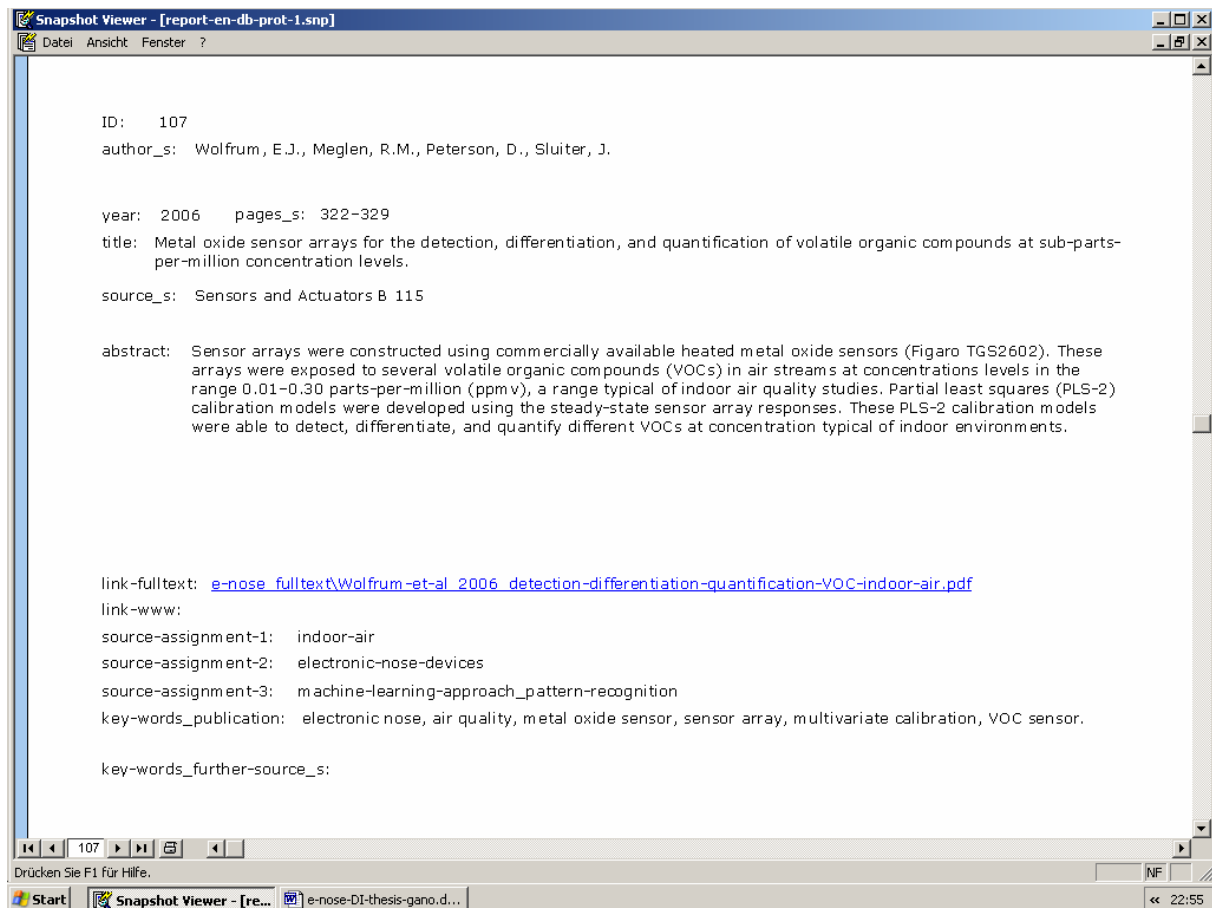


Abb. Anhang III-19: "screenshot", "record" "ID" 107 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Wolfrum, E.J., Meglen, R.M., Peterson, D., Sluiter, J.

"title": "Metal oxide sensor arrays for the detection, differentiation, and quantification of volatile organic compounds at sub-parts-per-million concentration levels."

"abstract": "Sensor arrays were constructed using commercially available heated metal oxide sensors (Figaro TGS2602). These arrays were exposed to several volatile organic compounds (VOCs) in air streams at concentrations levels in the range 0.01–0.30 parts-per-million (ppmv), a range typical of indoor air quality studies. Partial least squares (PLS-2) calibration models were developed using the steady-state sensor array responses. These PLS-2 calibration models were able to detect, differentiate, and quantify different VOCs at concentration typical of indoor environments."

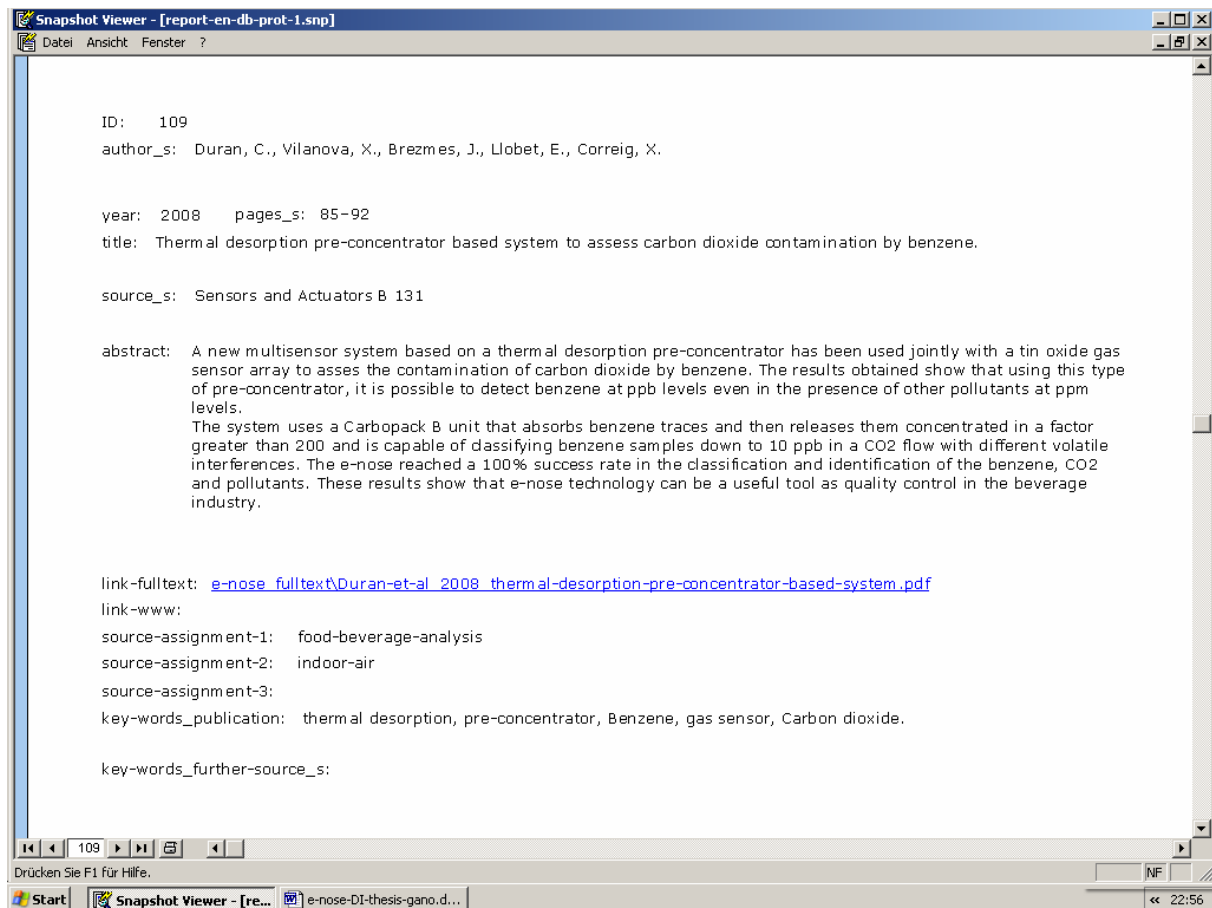


Abb. Anhang III-20: "screenshot", "record" "ID" 109 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Duran, C., Vilanova, X., Brezmes, J., Llobet, E., Correig, X.

"title": "Thermal desorption pre-concentrator based system to assess carbon dioxide contamination by benzene."

"abstract": "A new multisensor system based on a thermal desorption pre-concentrator has been used jointly with a tin oxide gas sensor array to assess the contamination of carbon dioxide by benzene. The results obtained show that using this type of pre-concentrator, it is possible to detect benzene at ppb levels even in the presence of other pollutants at ppm levels.

The system uses a Carbopack B unit that absorbs benzene traces and then releases them concentrated in a factor greater than 200 and is capable of classifying benzene samples down to 10 ppb in a CO₂ flow with different volatile interferences. The e-nose reached a 100% success rate in the classification and identification of the benzene, CO₂ and pollutants. These results show that e-nose technology can be a useful tool as quality control in the beverage industry."

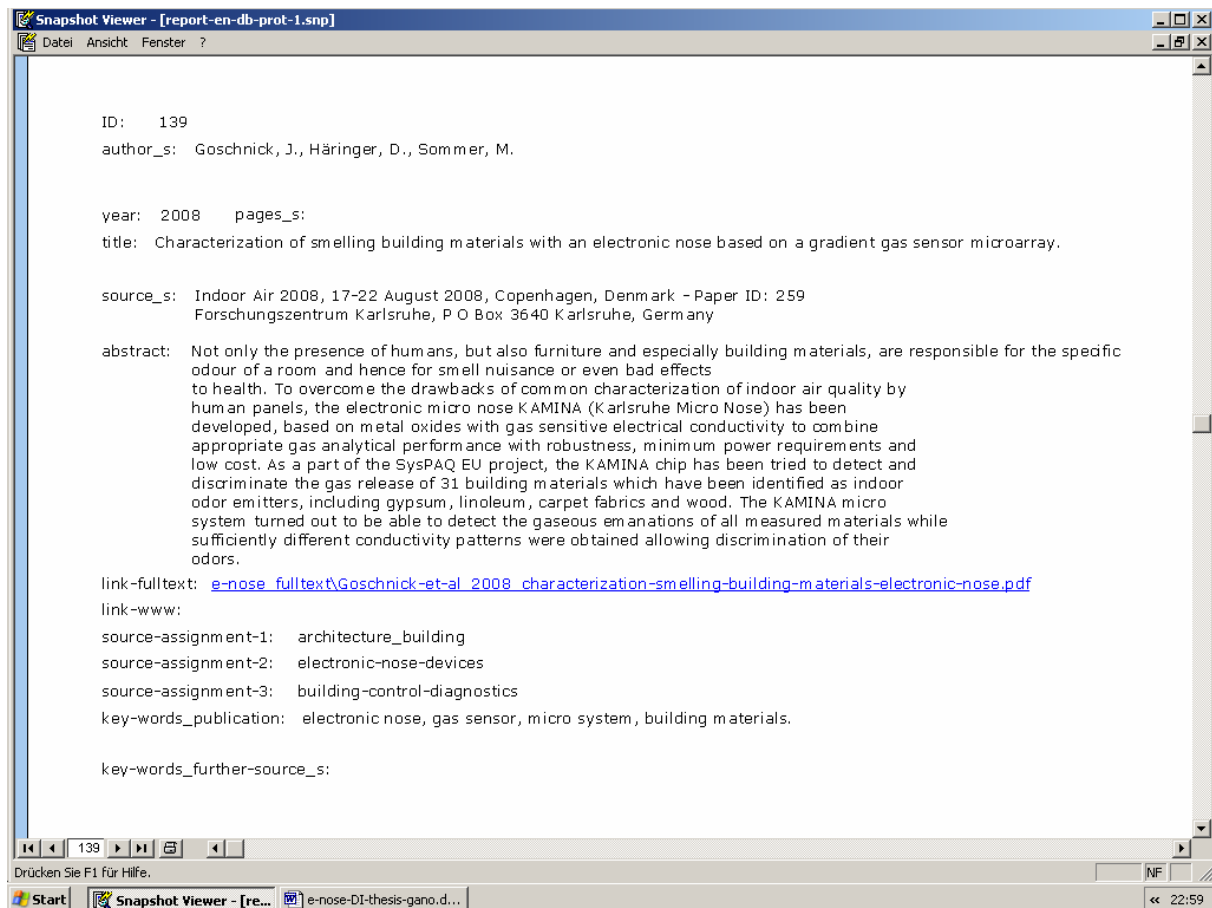


Abb. Anhang III-21: "screenshot", "record" "ID" 139 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Goschnick, J., Häring, D., Sommer, M.

"title": "Characterization of smelling building materials with an electronic nose based on a gradient gas sensor microarray."

"abstract": "Not only the presence of humans, but also furniture and especially building materials, are responsible for the specific odour of a room and hence for smell nuisance or even bad effects to health. To overcome the drawbacks of common characterization of indoor air quality by human panels, the electronic micro nose KAMINA (Karlsruhe Micro Nose) has been developed, based on metal oxides with gas sensitive electrical conductivity to combine appropriate gas analytical performance with robustness, minimum power requirements and low cost. As a part of the SysPAQ EU project, the KAMINA chip has been tried to detect and discriminate the gas release of 31 building materials which have been identified as indoor odor emitters, including gypsum, linoleum, carpet fabrics and wood. The KAMINA micro system turned out to be able to detect the gaseous emanations of all measured materials while sufficiently different conductivity patterns were obtained allowing discrimination of their odors."

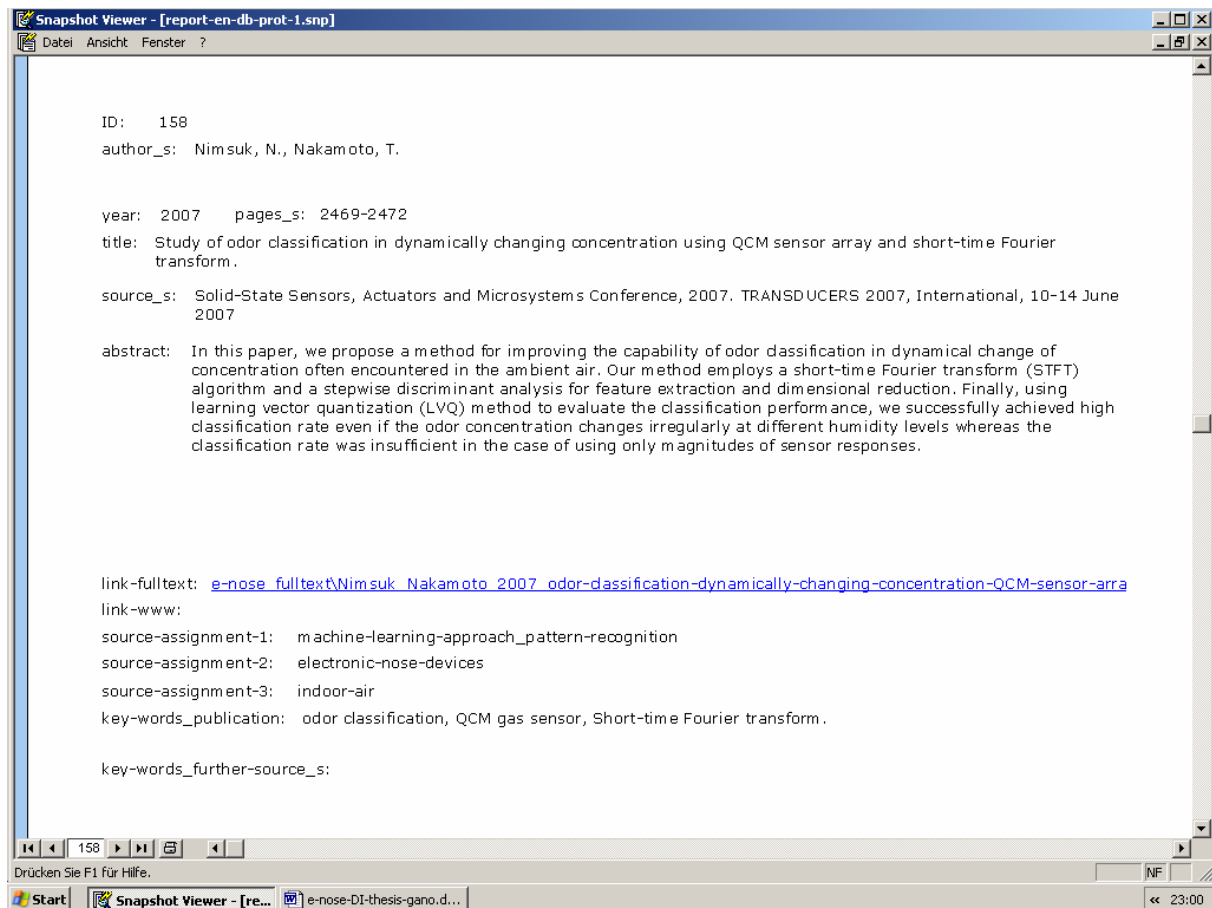


Abb. Anhang III-22: "screenshot", "record" "ID" 158 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Nimsuk, N., Nakamoto, T.

"title": "Study of odor classification in dynamically changing concentration using QCM sensor array and short-time Fourier transform."

"abstract": "In this paper, we propose a method for improving the capability of odor classification in dynamical change of concentration often encountered in the ambient air. Our method employs a short-time Fourier transform (STFT) algorithm and a stepwise discriminant analysis for feature extraction and dimensional reduction. Finally, using learning vector quantization (LVQ) method to evaluate the classification performance, we successfully achieved high classification rate even if the odor concentration changes irregularly at different humidity levels whereas the classification rate was insufficient in the case of using only magnitudes of sensor responses."

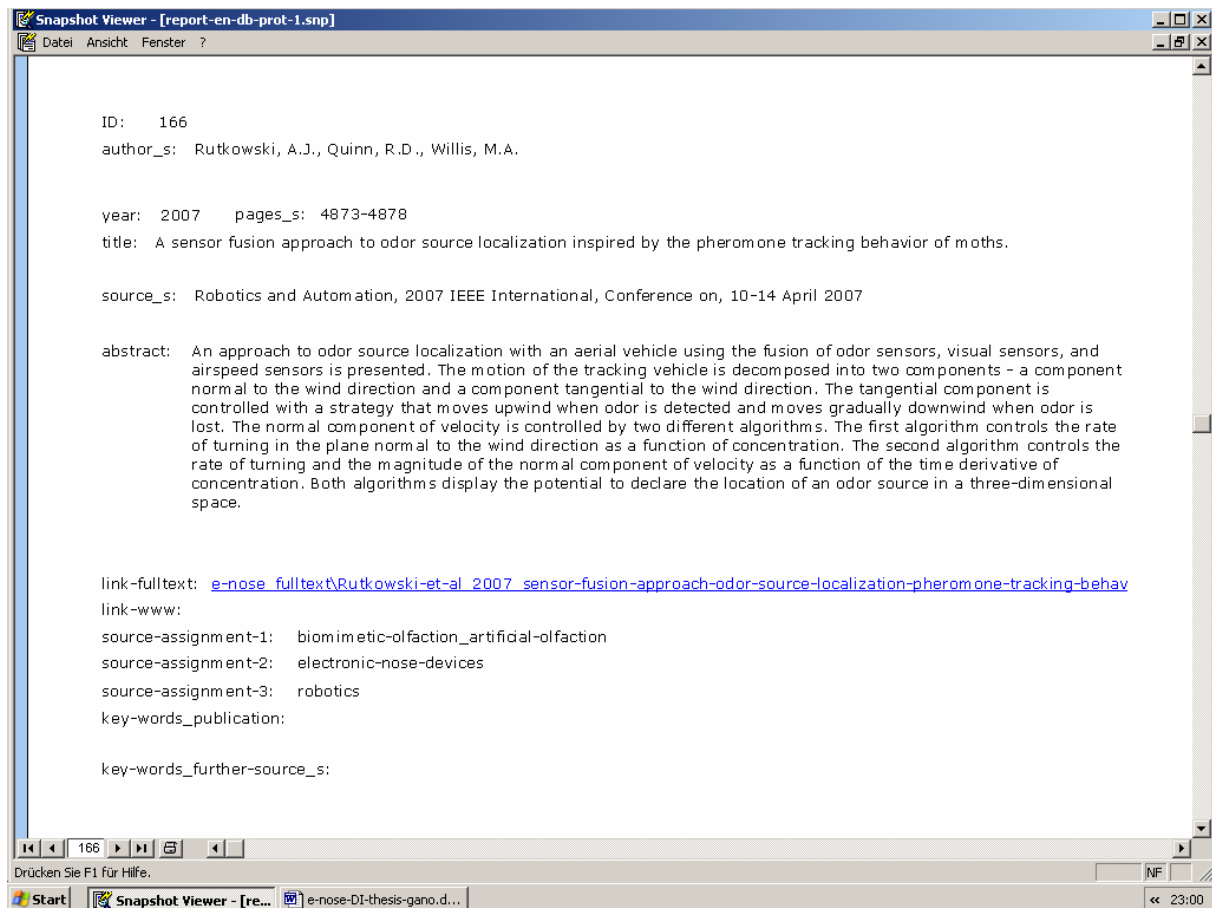


Abb. Anhang III-23: "screenshot", "record" "ID" 166 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Rutkowski, A.J., Quinn, R.D., Willis, M.A.

"title": "A sensor fusion approach to odor source localization inspired by the pheromone tracking behavior of moths."

"abstract": "An approach to odor source localization with an aerial vehicle using the fusion of odor sensors, visual sensors, and airspeed sensors is presented. The motion of the tracking vehicle is decomposed into two components - a component normal to the wind direction and a component tangential to the wind direction. The tangential component is controlled with a strategy that moves upwind when odor is detected and moves gradually downwind when odor is lost. The normal component of velocity is controlled by two different algorithms. The first algorithm controls the rate of turning in the plane normal to the wind direction as a function of concentration. The second algorithm controls the rate of turning and the magnitude of the normal component of velocity as a function of the time derivative of concentration. Both algorithms display the potential to declare the location of an odor source in a three-dimensional space."

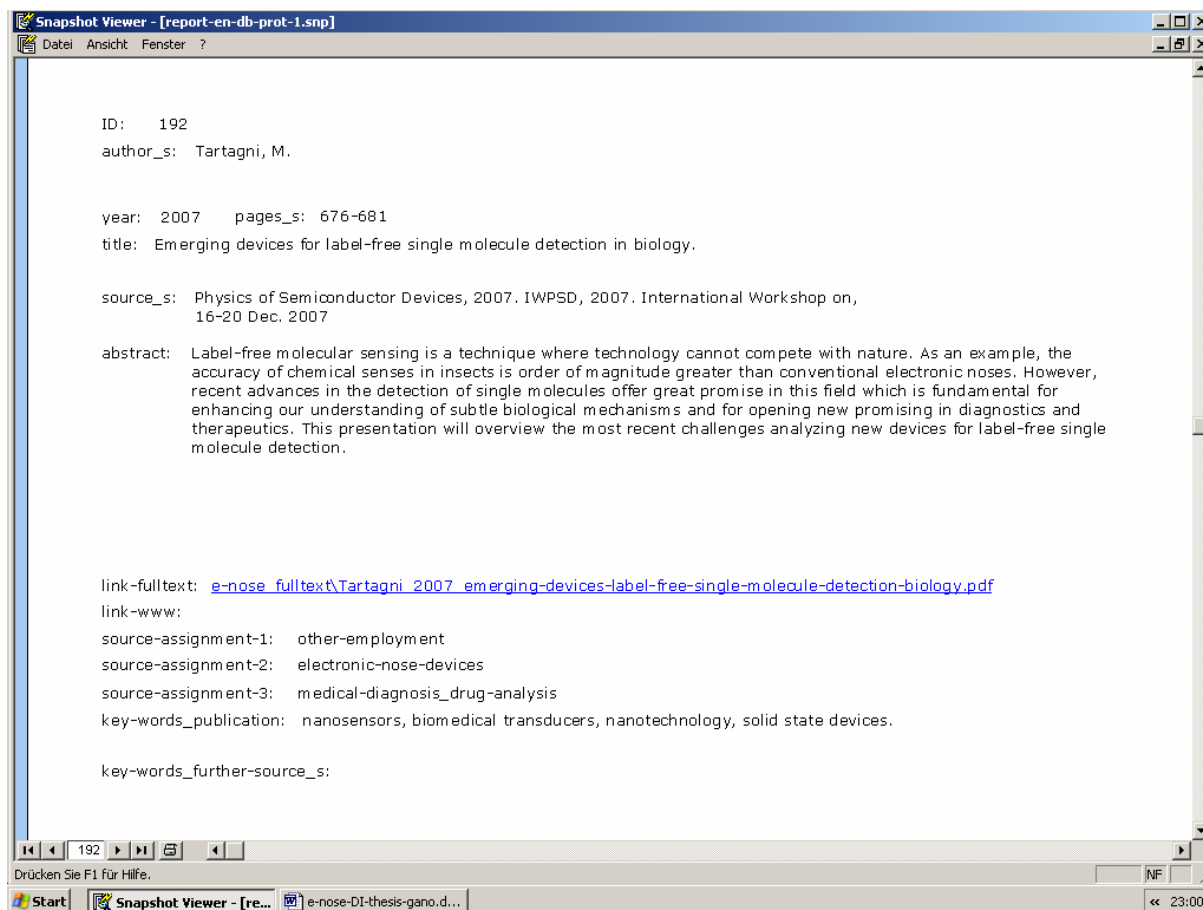


Abb. Anhang III-24: "screenshot", "record" "ID" 192 (E-Nase-db 2009), Objekt Berichte (Access 2000, Access 2002), "Snapshot Viewer" (Access 2002).

"author_s": Tartagni, M.

"title": "Emerging devices for label-free single molecule detection in biology."

"abstract": "Label-free molecular sensing is a technique where technology cannot compete with nature. As an example, the accuracy of chemical senses in insects is order of magnitude greater than conventional electronic noses. However, recent advances in the detection of single molecules offer great promise in this field which is fundamental for enhancing our understanding of subtle biological mechanisms and for opening new promising in diagnostics and therapeutics. This presentation will overview the most recent challenges analyzing new devices for label-free single molecule detection."