

Ein neues Schweizer Label für die Zertifizierung des Innenraumklimas

R. Coutalides, U. Heinss, P. Thalmann

Zusammenfassung Im Beitrag wird die Konzeption und Anwendung eines Labels in der Schweiz beschrieben, das Innenraumklimata von Neu- und Umbauten durch Abschlussmessungen zertifiziert. Grundlage sind aus der Praxis abgeleitete Zielwerte. Dokumentiert wird die Anwendung an einem Wohn- und einem Bürogebäude in Zürich.

A new Swiss label for certification of indoor air quality

Abstract This publication outlines the genesis and implementation of a label in Switzerland that certifies the indoor air quality of new and newly renovated buildings through end-of-construction air quality testing. Measured readings are based upon target values that have been derived from practical experience in the field. Profiled are two documented cases involving a residential building and an office building in Zurich.

1 Einleitung

Noch heute kommt es in der Schweiz immer wieder vor, dass in neu erstellten Gebäuden gesundheitliche Beeinträchtigungen auftreten, die Sanierungskosten in Millionenhöhe nach sich ziehen. So z. B. in einem renovierten Schulgebäude in Zürich, das in zehn Klassenzimmern Formaldehydwerte zwischen 190 und 311 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aufwies [1]. In dem Buch „Innenraumklima“, das zusammen mit dem Schweizer Bundesamt für Gesundheit und verschiedenen Bauämtern der Schweiz entstanden ist, sind achtzehn Schadensfälle exemplarisch beschrieben und mit detaillierten Mess- und Materialdaten dokumentiert. Aus diesen Schadensfällen wurde die „Planungsleistung Innenraumklima“ entwickelt. Sie beschreibt für jede Planungsphase nach Leistungsmodell SIA 112 [2] konkrete Leistungen zur Optimierung des Innenraumklimas. Mithilfe von Arbeitsblättern, die als

Dipl.-Chem. Reto Coutalides, Dipl.-Ing. Uwe Heinss,
Dipl.-Natw. Philipp Thalmann,

BAU- UND UMWELTCHEMIE Beratungen + Messungen AG,
Zürich.

Arbeitsvorlagen zur Verfügung gestellt werden [3], können die relevanten Einflüsse auf das Innenraumklima erfasst, kontrolliert und minimiert werden. Dabei werden auch Anforderungen an die Qualität der Innenraumluft mit konkreten Zielwerten belegt. Bei den chemischen Schadstoffen sind dies einige Eckwerte, wie z. B. die Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC, totale volatile organic compounds) von Lösemitteln und Formaldehyd. Das Label GI GUTES INNENRAUMKLIMA® ist die Weiterentwicklung und Erweiterung dieser Zielforderungen. In einer zweijährigen Prüfphase ging es darum aufzuzeigen, ob und wie solche Zielwerte in der Praxis zu erreichen sind. Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse dieser Untersuchungen vor, die Gebäude, in denen Teile der „Planungsleistung Innenraumklima“ (Baubegleitung) umgesetzt wurden, und Gebäude, in denen keine speziellen Maßnahmen zur Optimierung des Innenraumklimas getroffen wurden, umfasst. Weiterhin wird die Zertifizierung von zwei Gebäuden durch das Label GI GUTES INNENRAUMKLIMA® vorgestellt.

2 Ergebnisse

Die Aldehydmessungen (Tabelle 1) zeigen, dass die Werte in Gebäuden ohne Baubegleitung bei fast allen Verbindungen deutlich höher liegen als in Gebäuden mit Baubegleitung. Gemessen wurde ein bis zwölf Wochen nach Bauende in Gebäuden mit Baubegleitung und ein bis 30 Wochen in Gebäuden ohne Baubegleitung. Auch bei den Lösemitteln liegen die Werte in Objekten ohne Baubegleitung deutlich über den Werten von Objekten, die begleitet wurden (Tabelle 2). Der Median der 21 Objekte ($n = 62$) ohne Baubegleitung liegt für TVOC bei 950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (95- Perzentil: 3 922 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) deutlich über den Werten der Gebäude mit Baubegleitung (Median: 660 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 95-Perzentil: 2 237 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). In keinem der Objekte mit Baubegleitung kam es nach Bezug zu Klagen über das Innenraumklima.

Das Bedürfnis der Bauherrn nach Sicherheit bezüglich Wohngiften und damit nach Abschlussmessungen führte zur Idee, ein Label zu schaffen, das Anrei-

| Verbindung | 50-Perzentil | | 95-Perzentil | | Max | | SD | | % | |
|-------------------------|--------------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | |
| Formaldehyd | 36 | 25 | 138 | 39 | 179 | 57 | 38,6 | 10,6 | 98,1 | 100 |
| 2,5-Dimethylbenzaldehyd | 0 | 0 | 0 | 0 | 1317 | 0 | 231,7 | 0 | 3,7 | 0 |
| Acetaldehyd | 37 | 24 | 195 | 87 | 451 | 142 | 84,7 | 31,2 | 98,1 | 92,6 |
| Propanal | 13 | 0 | 53 | 15 | 107 | 22 | 22,0 | 6,1 | 68,5 | 48,1 |
| Propenal | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Benzaldehyd | 0 | 0 | 28 | 23 | 40 | 28 | 10,4 | 8,6 | 48,1 | 48,1 |
| Butanal | 0 | 0 | 42 | 16 | 52 | 28 | 13,2 | 7,4 | 40,7 | 37 |
| Butenal-2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 537 | 0 | 96,8 | 0 | 3,7 | 0 |
| 3-Methylbutanal | 0 | 0 | 20 | 8 | 36 | 9 | 8,1 | 2,9 | 20,4 | 14,8 |
| Pentanal | 9 | 0 | 232 | 11 | 520 | 12 | 99 | 4,2 | 63 | 25,9 |
| 1,5-Pentandial | 0 | 0 | 7 | 14 | 10 | 19 | 2,2 | 5,8 | 7,4 | 33,3 |
| Hexanal | 33 | 22 | 331 | 48 | 644 | 63 | 126,4 | 15,2 | 92,6 | 92,6 |

Tabelle 1. Abschlussmessungen Aldehyde ohne/mit Baubegleitung in Neu- und Umbauten; insgesamt 28 Objekte ($n = 81$), 21 Objekte ($n = 54$) ohne Baubegleitung, 7 Objekte ($n = 27$) mit Baubegleitung.

Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
SD: Standardabweichung,
%: prozentuale Findungshäufigkeit, n: Anzahl Messungen, Max: Maximalwert

| Verbindung | 50-Perzentil | | 95-Perzentil | | Max | | SD | | % | |
|-------------------------------|--------------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit | ohne/mit |
| 1,2,4-Trimethyl-benzol | 0 | 0 | 56 | 15 | 220 | 18 | 32,4 | 5,7 | 41,9 | 21,4 |
| 1,3,5-Trimethyl-benzol | 0 | 0 | 20 | 0 | 90 | 0 | 15,1 | 0 | 12,9 | 0 |
| 1-Butanol | 0 | 0 | 20 | 50 | 45 | 63 | 9,8 | 17,1 | 17,7 | 39,3 |
| 1-Decen | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 | 2,4 | 0 | 1,6 | 0 |
| 1-Methoxy-2-propanol | 0 | 0 | 120 | 33 | 220 | 70 | 50,2 | 15,4 | 32,3 | 25,0 |
| 2-(1-Methoxy)-propylacetat | 0 | 0 | 260 | 28 | 2300 | 34 | 317 | 11,2 | 38,7 | 35,7 |
| 2-Butanon | 0 | 41 | 49 | 175 | 60 | 337 | 18,9 | 76 | 48,4 | 71,4 |
| 2-Butoxyethanol | 0 | 0 | 65 | 43 | 120 | 210 | 26,4 | 40,5 | 45,2 | 25 |
| 2-Ethyl-1-hexanol | 0 | 20 | 32 | 53 | 58 | 70 | 11,4 | 18,4 | 21 | 67,9 |
| 2-Ethyltoluol | 0 | 0 | 35 | 0 | 80 | 0 | 14 | 0 | 14,5 | 0 |
| 2-Propanol | 0 | 0 | 0 | 0 | 159 | 36 | 26 | 6,8 | 3,2 | 3,6 |
| 3-/4-Ethyltoluol | 0 | 0 | 43 | 16 | 360 | 21 | 48,1 | 6,4 | 40,3 | 28,6 |
| 3-Caren | 0 | 0 | 168 | 23 | 200 | 42 | 56,7 | 10,3 | 43,5 | 21,4 |
| α -Pinen | 10 | 11 | 215 | 63 | 305 | 144 | 77,3 | 31,3 | 51,6 | 57,1 |
| Benzaldehyd | 0 | 0 | 60 | 3 | 140 | 11 | 27,8 | 2,2 | 29 | 7,1 |
| Benzol | 0 | 0 | 2 | 4 | 2 | 6 | 0,6 | 1,5 | 11,3 | 10,7 |
| Benzylalkohol | 0 | 0 | 95 | 0 | 190 | 0 | 40,2 | 0 | 19,4 | 0 |
| β -Pinen | 0 | 0 | 31 | 7 | 55 | 31 | 11,6 | 6,1 | 25,8 | 7,1 |
| Butylhydroxytoluol | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 | 20 | 0 | 7,1 | 0 | 25 |
| Butoxyethoxyethanol | 0 | 14 | 40 | 46 | 65 | 48 | 16,5 | 16,4 | 24,2 | 53,6 |
| Cyclohexan | 0 | 0 | 51 | 88 | 248 | 128 | 35,4 | 32,9 | 25,8 | 10,7 |
| Cyclohexanon | 0 | 0 | 10 | 43 | 28 | 95 | 4,8 | 21,5 | 6,5 | 7,1 |
| Ethylacetat | 0 | 0 | 63 | 419 | 94 | 1010 | 21,6 | 213,8 | 16,1 | 39,3 |
| Ethylbenzol | 0 | 0 | 93 | 47 | 150 | 53 | 31,8 | 15,4 | 45,2 | 42,9 |
| Hexanal | 32 | 8 | 114 | 43 | 125 | 57 | 36,5 | 17,1 | 72,6 | 50 |
| Isobutanol | 0 | 0 | 0 | 30 | 38 | 41 | 6,3 | 11 | 3,2 | 14,3 |
| Limonen | 5 | 0 | 55 | 23 | 220 | 27 | 32,9 | 7,8 | 53,2 | 17,9 |
| Methylcyclohexan | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 50 | 1,7 | 9,4 | 4,8 | 3,6 |
| Methylisobutylketon | 0 | 0 | 26 | 41 | 38 | 64 | 9,2 | 16 | 16,1 | 35,7 |
| Naphthalin | 0 | 0 | 2 | 0 | 24 | 2 | 3,2 | 0,4 | 8,1 | 3,6 |
| n-Butylacetat | 14 | 13 | 60 | 167 | 95 | 200 | 23,1 | 65,8 | 61,3 | 53,6 |
| n-Decan | 0 | 0 | 57 | 10 | 210 | 14 | 34,9 | 3,6 | 17,7 | 10,7 |
| n-Dodecan | 0 | 0 | 54 | 19 | 65 | 24 | 17,2 | 7,3 | 35,5 | 35,7 |
| n-Heptan | 0 | 0 | 25 | 0 | 40 | 0 | 8,5 | 0 | 11,3 | 0 |
| n-Hexadecan | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 1,9 | 0 | 1,6 | 0 |
| n-Nonan | 0 | 0 | 26 | 0 | 170 | 32 | 25,1 | 6 | 17,7 | 3,6 |
| n-Octan | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 | 0 | 12,2 | 0 | 3,2 | 0 |
| Nonanal | 5 | 0 | 34 | 0 | 50 | 20 | 14,3 | 3,8 | 50 | 3,6 |
| n-Pentadecan | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 3,1 | 0 | 3,2 | 0 |
| n-Propylbenzol | 0 | 0 | 12 | 0 | 55 | 0 | 7,8 | 0 | 9,7 | 0 |
| n-Tetradecan | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 1,7 | 0 | 1,6 | 0 |
| n-Tridecan | 0 | 0 | 10 | 0 | 80 | 0 | 13,1 | 0 | 6,5 | 0 |
| n-Undecan | 0 | 0 | 89 | 22 | 130 | 28 | 29,7 | 8,8 | 40,3 | 35,7 |
| Octamethylcyclotetrasiloxan | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 14 | 0 | 3,2 | 0 | 7,1 |
| o-Xylol | 0 | 18 | 94 | 245 | 131 | 591 | 34,1 | 121,6 | 35,5 | 64,3 |
| Phenoxyethanol | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 10 | 6,7 | 1,9 | 4,8 | 3,6 |
| Styrol | 0 | 0 | 38 | 90 | 50 | 603 | 13,4 | 114,6 | 17,7 | 32,1 |
| Substituierte Aromaten | 0 | 0 | 202 | 305 | 460 | 431 | 89,1 | 109,8 | 29 | 17,9 |
| Tetrahydrofuran | 0 | 0 | 0 | 0 | 160 | 34 | 20,3 | 6,4 | 1,6 | 3,6 |
| Texanol | 0 | 0 | 16 | 14 | 110 | 19 | 18 | 5,3 | 6,5 | 14,3 |
| Toluol | 59 | 44 | 270 | 475 | 320 | 547 | 80,1 | 145,2 | 96,8 | 92,9 |
| Weitere Verbindungen | 48 | 0 | 533 | 153 | 1350 | 477 | 263,3 | 96,1 | 72,6 | 46,4 |
| Xylol (Isomergemisch) | 31 | 25 | 444 | 138 | 690 | 215 | 141,4 | 51,2 | 61,3 | 71,4 |
| Aldehyde/Ketone | 65 | 67 | 244 | 260 | 356 | 400 | 89,2 | 104,5 | 83,9 | 78,6 |
| Aliphatische KW | 60 | 31 | 1210 | 538 | 2372 | 982 | 472,6 | 220,2 | 85,5 | 60,7 |
| Amine/Amide | 0 | 0 | 48 | 33 | 92 | 49 | 16,9 | 12,3 | 12,9 | 17,9 |
| Aromatische KW | 250 | 150 | 1113 | 893 | 1820 | 1299 | 356,6 | 334,9 | 98,4 | 96,4 |
| Carbonsäuren, Alkohole, Ether | 17 | 36 | 250 | 131 | 360 | 11 | 94 | 45 | 59,7 | 75 |
| Chlorierte KW | 0 | 0 | 7 | 0 | 16 | 5 | 3 | 0,9 | 8,1 | 3,6 |
| Cycloalkane | 0 | 0 | 51 | 92 | 261 | 172 | 37,1 | 39,8 | 29 | 10,7 |
| Ester | 36 | 95 | 377 | 450 | 2330 | 1117 | 325,4 | 225,9 | 71 | 71,4 |
| Glykole/Derivate | 23 | 25 | 292 | 245 | 490 | 335 | 110,2 | 84,7 | 58,1 | 75 |
| Siloxane | 38 | 38 | 280 | 283 | 488 | 459 | 109,3 | 104,9 | 64,5 | 75 |
| Terpene | 30 | 11 | 301 | 87 | 414 | 228 | 108,1 | 47,9 | 80,6 | 57,1 |
| TVOC | 950 | 660 | 3922 | 2237 | 4813 | 2390 | 1226 | 678 | 100 | 100 |

Tabelle 2. Abschlussmessungen VOC in Neu- und Umbauten; insgesamt 28 Objekte (n = 92), 21 Objekte (n = 62) ohne Baubegleitung, 7 Objekte (n = 28) mit Baubegleitung.

Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
SD: Standardabweichung;
%: prozentuale Findungshäufigkeit, KW: Kohlenwasserstoff, Max: Maximalwert

Tabelle 3. Abschlussmessungen VOC acht Wochen nach den letzten Arbeiten. Gemessen wurden 13 Räume.
Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, TV: Zielwert (Target Value), SD: Standardabweichung, Max: Maximalwert, KW: Kohlenwasserstoff

| Verbindung | 50-Perzentil | 95-Perzentil | Max | SD | TV |
|-------------------------------|--------------|--------------|-----|-------|------|
| 1,2,4-Trimethylbenzol | 0 | 15 | 16 | 6 | 100 |
| 1-Butanol | 0 | 37 | 61 | 17,2 | 200 |
| 1-Methoxy-2-propanol | 0 | 12 | 14 | 4,6 | 200 |
| 2-(1-Methoxy)-propylacetat | 13 | 30 | 34 | 12,7 | 200 |
| 2-Butanonoxim | 0 | 29 | 37 | 12,1 | 100 |
| 2-Butoxyethanol | 0 | 4 | 10 | 2,8 | 200 |
| 2-Ethyl-1-hexanol | 22 | 47 | 62 | 16 | 200 |
| 3-/4-Ethyltoluol | 0 | 14 | 18 | 6,5 | 300 |
| 3-Caren | 0 | 6 | 16 | 4,4 | 50 |
| α -Pinen | 0 | 26 | 46 | 13 | 200 |
| Benzol | 0 | 1 | 2 | 0,6 | 5 |
| 2-(2-Butoxyethoxy)-ethanol | 26 | 46 | 46 | 14,1 | 200 |
| n-Butylacetat | 113 | 184 | 200 | 68 | 200 |
| Ethylacetat | 0 | 21 | 24 | 9 | 200 |
| Ethylbenzol | 0 | 20 | 21 | 8,8 | 300 |
| 2-Butanon | 67 | 164 | 191 | 56,8 | 200 |
| Methylisobutylketon | 11 | 24 | 28 | 10,4 | 200 |
| Naphthalin | 0 | 1 | 2 | 0,6 | 5 |
| n-Decan | 0 | 10 | 10 | 3,8 | 200 |
| n-Dodecan | 10 | 13 | 13 | 5,9 | 200 |
| n-Undecan | 11 | 22 | 23 | 8,7 | 200 |
| o-Xylol | 14 | 41 | 45 | 15,6 | 300 |
| 2-Phenoxyethanol | 0 | 4 | 10 | 2,8 | 150 |
| Tetrachlorethylen | 0 | 2 | 5 | 1,4 | 5 |
| Toluol | 22 | 74 | 82 | 24,4 | 300 |
| Xylol (isom. Gemisch) | 37 | 83 | 89 | 26,6 | 300 |
| Aliphatische KW | 32 | 55 | 57 | 22,6 | 500 |
| Aromatische KW | 79 | 232 | 234 | 83,8 | 500 |
| Carbonsäuren, Alkohole, Ether | 29 | 85 | 123 | 31,9 | 300 |
| Chlorierte KW | 0 | 2 | 5 | 1,4 | 10 |
| Ester | 147 | 203 | 222 | 69 | 300 |
| Glykole/Derivate | 26 | 46 | 46 | 13,3 | 300 |
| Siloxane | 20 | 63 | 80 | 23,5 | 500 |
| Terpene | 0 | 33 | 62 | 17,2 | 300 |
| TVOC | 485 | 800 | 818 | 240,8 | 1000 |

ze schaffen soll, Gebäude auch im Hinblick auf das Innenraumklima zu optimieren und die „Planungsleistung Innenraumklima“ in den Planungsprozessen anzuwenden. Ein solches Label muss Kategorien definieren, für die Zielwerte festgelegt werden, sowie die Messparameter und die Zielwerte festlegen. Darüber hinaus muss es die Anforderungen an die Messinstitute und das Vorgehen zur Auswahl der Messpunkte festlegen. Außerdem muss es einen unabhängigen Zertifizierungsprozess zur Qualitätssicherung garantieren.

Mit dem Label GI GUTES INNENRAUMKLIMA® wird ein solcher Standard vorgestellt. Mit zwei Fallbeispielen wird aufgezeigt, dass die geforderten Zielwerte mit einer sorgfältigen Planung erreicht werden können.

3 Zielwerte

Für die ausgewählten chemischen Schadstoffe in der Raumluft sowie biologische Keime und Feinstaub in der Zuluft von

Lüftungsanlagen mussten Zielwerte festgelegt werden. Wegen der erforderlichen Praktikabilität und Akzeptanz in der Praxis beschränkte man sich auf diese Kategorien. Für die Herleitung der Zielwerte für chemische Schadstoffe kann nicht auf statistische Zielwerte, wie sie z. B. von *Schleibinger* [4] hergeleitet werden, zurückgegriffen werden, da in Gebäuden Wochen und Monate nach Bauende immer noch mit deutlich erhöhten Werten gerechnet werden muss und solche Zielwerte daher nicht praktikabel wären. Es galt also, Werte heranzuziehen, die sowohl aus raumlufthygienischer Sicht als auch toxikologischer Sicht vertretbar sind, die Risiken von Klagen minimieren und zudem für die Baupraxis erreichbar sind.

In der vorliegenden Arbeit wurde der pragmatische Weg gewählt, bereits existierende Werte zugrunde zu legen. Vorrangig wurden bestehende Richtwert-I(RW-I)-Werte [5] oder andere etablierte Innenraumluftstandards, wie Werte der Weltgesundheitsorganisation (WHO), herangezogen. Sofern keine Werte bekannt waren, wurde 1/100 der MAK-Werte bzw. 1/100 der Threshold Limit Values (TLV) gewählt. Bei einigen Verbindungen wurden auch niedrige NIK(niedrigste interessierende Konzentrationen)-Werte als Orientierung bei der Festlegung der Zielwerte herangezogen.

Zusätzlich wurden, sofern vorhanden, Geruchsschwellenwerte mitberücksichtigt. Dies wurde insbesondere bei den höheren Aldehyden (C_7 bis C_{10}), für die keine RW-I-Werte vorliegen, angewandt. Da

die Geruchsschwellenwerte je nach Literaturangaben stark voneinander abweichen, wurden verschiedene Quellen berücksichtigt und die Plausibilität durch Quervergleiche abgeschätzt. Den Autoren ist bewusst, dass die Geruchsschwellenwerte nur mit Vorsicht zu verwenden sind. *Wolkoff* weist z. B. darauf hin, dass mit neuen olfaktometrischen Methoden die Geruchsschwellenwerte für viele VOC möglicherweise tiefer festgelegt werden müssen als bisher [6]. Dies hätte auch eine Anpassung der Zielwerte bei den Verbindungen zur Folge, die sich ausschließlich auf Geruchsschwellenwerte stützen. Zusätzlich besteht das Problem, dass Stoffmischungen wiederum andere olfaktorische Eigenschaften aufweisen als Reinstoffe. Trotz dieser Schwierigkeiten benötigt man aber in der Praxis Orientierungswerte für die Raumluft nach Bauende, die es ermöglichen, die Sorgfalt der Bauausführung zu bewerten und zugleich raumlufthygienische Aussagen machen zu können.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden in Anlehnung an [7] für die verschiedenen Stoffklassen höchstzulässige Summen

gebildet (siehe **Tabelle 3**). Von den einzelnen Vertretern dieser Stoffklassen wurde der Zielwert im Bereich der Hälfte dieses Werts festgelegt, wenn keine niedrigeren RW-I-Werte bzw. andere Werte vorhanden waren. So beträgt der Zielwert für Toluol $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der von Naphthalin jedoch $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (RW-I-Wert $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Da Klagen über Gerüche oder gesundheitliche Beeinträchtigungen erfahrungsgemäß am häufigsten in den ersten Monaten nach dem Einzug in Neubauten auftreten und die Konzentration der chemischen Verbindungen dann am höchsten sind, müssen die Zielwerte 30 bis 100 Tage nach Bauende (einschließlich letzte Nachbesserungsarbeiten) erreicht werden. Finden die Messungen später statt, kann kein Zertifikat mehr vergeben werden. Naturgemäß nehmen die Werte, wenn kein Schadensfall vorliegt, in den darauf folgenden Monaten weiter ab.

In Gebäuden mit niedrigem Energieverbrauch, z. B. nach MINERGIE®-Standard [8], werden heute mechanische Lüftungsanlagen eingebaut, um einen ausreichenden Luftwechsel zu garantieren. Wie die Praxis zeigt, können schon zu Beginn Mängel – nicht dicht sitzende Filter, ungenügende Filterklassen, Feuchtigkeit in den Leitungen – auftreten, die die Zuluft negativ belasten. Deshalb werden in solchen Gebäuden zusätzlich zu den chemischen Schadstoffen auch die Feinstaub- und die Keimkonzentration in der Zuluft gemessen.

Die Zielwerte für Keime umfassen Konzentrationsangaben für Kolonie bildende Einheiten (KBE) sowohl für Bakterien als auch für Schimmelpilzsporen im Zuluftstrom. Diese Werte basieren zum einen auf Ergebnissen des deutschen ProKlima-Projekts [9], zum anderen auf eigenen Untersuchungen in 25 einwandfrei arbeitenden Raumlufthechnischen (RLT)-Anlagen (siehe **Tabelle 4**).

Die Zielwerte für die Partikelkonzentrationen werden für zwei relevante Partikelgrößen vorgegeben. Diese Werte können nur in einwandfrei arbeitenden RLT-Anlagen erreicht werden, in denen Filter gemäß den Empfehlungen der

Norm SIA 382/1 [10] eingesetzt werden. Eigene Messungen an 20 RLT-Anlagen zeigen, dass diese Zielwerte praktikabel sind. Ist die Filterleistung der Filter zu gering oder gelangen zusätzliche Partikeln in den Zuluftstrom, werden die geforderten Werte überschritten.

Die Zielwerte für Aldehyde und VOC sind in **Tabelle 5** und **3** aufgeführt.

4 Anforderungen an die Analytik

4.1 VOC-Messungen

Für VOC-Messungen ist TENAX TA als Trägermaterial mit anschließender Thermodesorption zu verwenden. Die Identifizierung und Quantifizierung erfolgt über Gaschromatografie/Massenspektrometrie (GC/MS) gemäß VDI 4300 Blatt 6 [11] und ISO 16000-6 [12].

VOC umfassen alle auf TENAX TA adsorbierbaren und identifizierten Stoffe im angegebenen Retentionszeitbereich zwischen n-Hexan und n-Eicosan. Die identifizierten Stoffe werden oberhalb der pro Substanz angegebenen Bestimmungsgrenze berücksichtigt (2 bis $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Die nicht identifizierten Signale werden oberhalb von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berücksichtigt. Nach gaschromatografischer Trennung wird die Konzentration der einzelnen im genannten Bereich identifizierten Verbindungen unter Verwendung des jeweils für sie gültigen Responsefaktors mittels externer Standards ermittelt. Weiterhin wird die Fläche der nicht identifizierten Verbindungen betrachtet. Mithilfe des Responsefaktors der Referenzverbindung Toluol wird die der Referenzverbindung äquivalente Konzentration der noch nicht quantifizierten Verbindungen errechnet. Zur Berechnung des TVOC werden diejenigen Aldehyde, die mit der Dinitrophenylhydrazin (DNPH)-Methode erfasst wurden, vom Wert der mit der Thermodesorptionsmethode gemessenen abgezogen. Die Zielwerte für die einzelnen Stoffklassen dürfen nicht überschritten werden, auch wenn die Forderung TVOC $\leq 1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfüllt ist. Stoffe, die weder identifiziert noch einer Stoffklasse zugeteilt werden können, dürfen einen Anteil von 15 % des TVOC nicht übersteigen. Ist die ausgewiesene Restkonzentration höher als 15%, so ist dies zu begründen. Stoffe, die gefunden werden, aber nicht in der Liste aufgeführt werden, müssen einzeln beurteilt werden. Dabei wird in Analogie zur Herleitung der Zielwerte vorgegangen.

4.2 Messungen der Aldehyde

Als Träger für Aldehyde sind DNPH-Kartuschen zu verwenden. Die Analyse erfolgt nach VDI 3484 Blatt 3 [13]. Die identifizierten und aufgelisteten Stoffe werden oberhalb der

Tabelle 4. Zielwerte TV (Target Value) für Feinstaub und Keime für das Label GI GUTES INNENRAUMKLIMA®.

| Parameter | TV | Einheit |
|--------------------------------|------------|-------------------|
| Bakterien | ≤ 190 | KBE/ m^3 |
| Thermoactinomyceten | 0 | KBE/ m^3 |
| Schimmelpilze | ≤ 120 | KBE/ m^3 |
| Partikelklasse | | |
| Feinstaub $> 2 \mu\text{m}$ | ≤ 10 | Partikel/l |
| Feinstaub $> 0,75 \mu\text{m}$ | ≤ 150 | Partikel/l |

| Verbindung | 50-Perzentil | 95-Perzentil | Max | SD | TV |
|------------------|--------------|--------------|------|------|-----|
| Formaldehyd | 18 | 27 | 28 | 7,4 | 60 |
| Acetaldehyd | 15 | 38 | 41 | 13,9 | 200 |
| Propenal | n.n. | n.n. | n.n. | – | 5 |
| Propanal | 0 | 6 | 6 | 2,8 | 20 |
| Butenal | n.n. | n.n. | n.n. | – | 5 |
| Butanal | 0 | 9 | 12 | 3,7 | 10 |
| Benzaldehyd | 0 | 8 | 9 | 3,2 | 50 |
| 3-Methyl-butanal | n.n. | n.n. | n.n. | – | 20 |
| 1,5-Pentandial | 6 | 16 | 19 | 6,6 | 20 |
| Pentanal | n.n. | n.n. | n.n. | – | 20 |
| Hexanal | 22 | 41 | 52 | 15,1 | 60 |

Tabelle 5. Abschlussmessungen Aldehyde acht Wochen nach den letzten Arbeiten. Gemessen wurden 13 Räume, Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SD: Standardabweichung, TV: Zielwert (Target Value), Max: Maximalwert, n.n.: nicht nachweisbar

Bestimmungsgrenze von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berücksichtigt.

4.3 Feinstaubmessungen

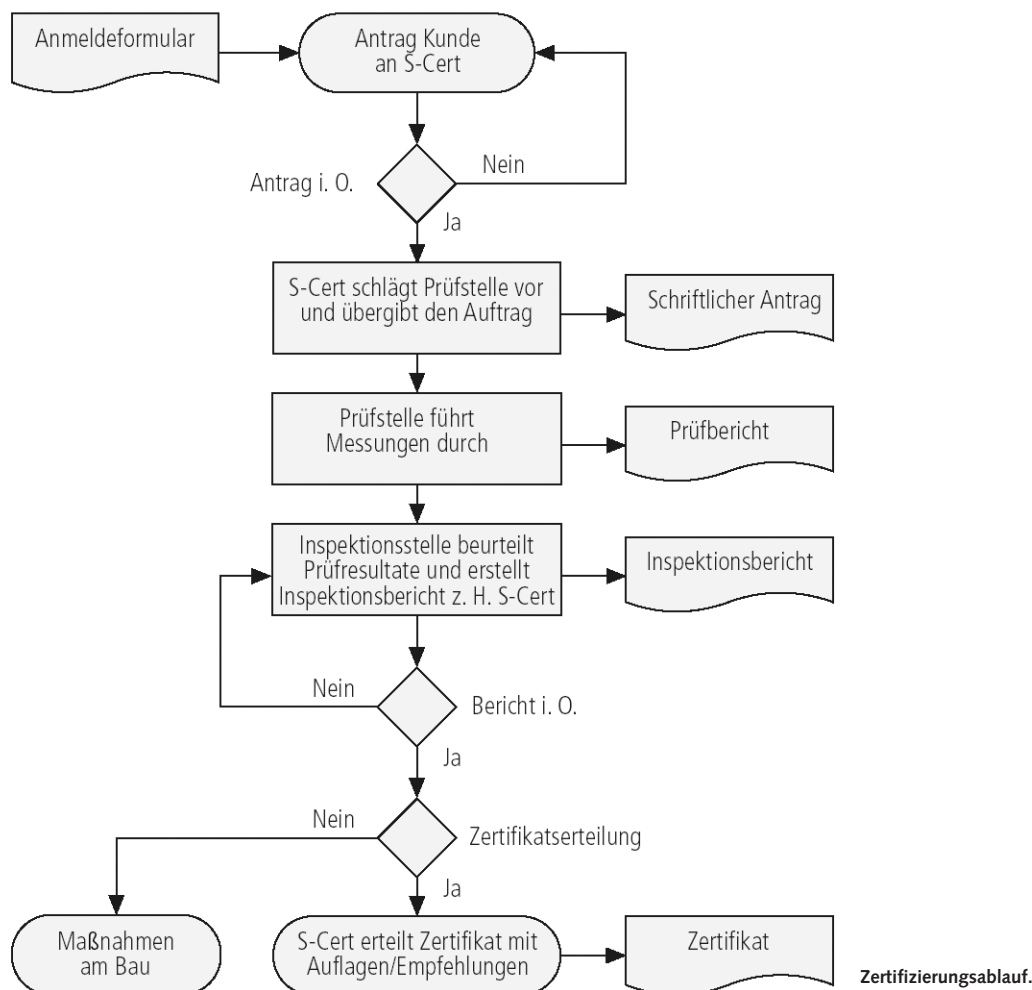
Die Messung erfolgt mit einem Partikelmessgerät, das auf einer Streulichtmessung mit Laser- und Fotodiode oder einem gleichwertigen Messsystem basiert, unter isokinetischen Messbedingungen. Pro Messpunkt muss die Messung so lange ausgeführt werden, bis ein stabiler Messwert erreicht wird, mindestens jedoch 10 min. Als Messwert gilt der Durchschnittswert der letzten 5 min der Messung.

4.4 Keimmessungen

Die Messung erfolgt mit einem Impaktionsgerät mit Massenflussmeter. Im Zuluftstrom sind Impaktionsvolumina von mindestens 100 l zu wählen (in Ausnahmefällen, bei geringem Zuluftstrom von $< 100 \text{ l}/\text{min}$, kann das Impaktionsvolumen bis auf 50 l reduziert werden). Als Nährmedien werden TSA, DG18, MEA und DRBC gewählt. Die Messung wird unter isokinetischen Messbedingungen durchgeführt. Die Identifizierung hat mindestens bis zur Gattungsebene zu erfolgen. Das Resultat wird in KBE/m^3 Raumluft pro Nährboden angegeben. Zudem sind die einzelnen Gattungen auf den Keimböden in KBE/m^3 Luft und die durchschnittliche Keimzahl der Nährböden DG 18, MEA und DRBC in KBE/m^3 in der Luft auszuweisen.

4.5 Anforderungen an Abschlussmessungen

Das Label GI GUTES INNENRAUMKLIMA® definiert auch die Anforderungen an das Gebäude bei den Abschlussmessungen. In Büro- und großen Wohngebäuden sind mindestens zwei Baueinheiten eines Bauprojekts oder mindestens 10 % aller Baueinheiten bis 100 Baueinheiten zu untersuchen. Für Büro-, Industrie-, Verwaltungs-, Schul- und Krankenhausgebäude umfasst eine Baueinheit Räume von 10 bis maximal 200 m^2 Nettogröße. Ab 100 Baueinheiten wird die Anzahl zu messender Räume von der Zertifizierungsstelle mit einem Abstufungsmodus festgelegt. Sowohl in Büro- als auch in Wohngebäuden müssen innere Oberflächen mit unterschiedlichen Materialien berücksichtigt werden. Die Zielwerte dürfen in allen gemessenen Baueinheiten für alle Einzelsubstanzen und Substanzklassen sowie für TVOC nicht überschritten werden. Sind einzelne Werte zu hoch, so können diese Baueinheiten in einem Zeitfenster von 30 bis 100 Tagen nach Ausführung letzter Bauarbeiten nachgemessen werden. Sind Lüftungssysteme vorhanden, dient der Zuluftstrom als Messpunkt: Die Anzahl der Zuluft-



messungen richtet sich nach der Anzahl der Messpunkte für chemische Schadstoffe. Dabei müssen an 20 % der Messpunkte die Zuluftströme auf Keime und Feinstaub untersucht werden. Der Zuluftstrom von jedem Monoblock, der eine Baueinheit speist, muss mindestens einmal erfasst werden.

5 Zertifizierung

Die Überprüfung des Innenraumklimas mit Abschlussmessungen wird mit dem Label GI GUTES INNENRAUMKLIMA® belegt. Es definiert die Anforderungen an das Innenraumklima sowie die Konzentration von Keimen und Feinstaub in der Zuluft bei Lüftungsanlagen. Die Zertifizierungsstelle legt die Anforderungen an die Messstellen und die Vorbereitung und Durchführung der Abschlussmessungen fest.

Das Label wird von der privaten Schweizerischen Zertifizierungsstelle für Bauprodukte S-Cert AG [14] vergeben. Sie ist für die Einhaltung der Konformität und den korrekten Zertifizierungsablauf sowie für die Überprüfung der Prüfstellen verantwortlich. Eine Prüfstelle (Messstelle) muss nachweislich über ein dokumentiertes Qualitätssicherungssystem in Anlehnung an die Norm ISO/IEC 17025 verfügen. Die Anforderungen erstrecken sich außerdem auf die Berichterstattung, die Dokumentation der Messunsicherheit sowie die erfolgreiche Teilnahme an internationalen Ringversuchen.

Damit die Prüfstelle als solche anerkannt und zugelassen wird, hat sie sich einer Auditierung durch die Schweizerische Zertifizierungsstelle S-Cert AG zu unterziehen (Bild). Eine

Tabelle 6. Abschlussmessungen VOC eine Woche nach den letzten Arbeiten in Wohnung B₁, zwei Wochen in Wohnung D und sechs Wochen nach den letzten Arbeiten in Wohnung B₂ im selben Gebäude.
Angaben in µg/m³, TV: Target Value (Zielwert), KW; Kohlenwasserstoff

| Verbindung | B ₁ | D | B ₂ | TV |
|------------------------------|----------------|------|----------------|------|
| Toluol | 139 | 39 | 38 | 300 |
| Xylol Isomerengemisch | 102 | 36 | 38 | 300 |
| Substituierte aromatische KW | 431 | 71 | 9 | 300 |
| Aliphatische KW | 982 | 146 | 58 | 200 |
| Cyclohexan | 128 | 24 | 26 | 200 |
| Limonen | 26 | n.n. | 18 | 200 |
| Pinene | 38 | 7 | 40 | 200 |
| Styrol | 106 | 8 | 24 | 70 |
| Unbekannte Verbindung | 109 | 41 | 113 | |
| 2-Ethyl-1-hexanol | n.n. | n.n. | n.n. | 50 |
| Diethylenglykol | n.n. | n.n. | 40 | 200 |
| TVOC | 2061 | 372 | 404 | 1000 |

Tabelle 7. Abschlussmessungen Aldehyde eine Woche nach den letzten Arbeiten in Wohnung B₁ und B₂ und zwei Wochen nach den letzten Arbeiten in Wohnung D im selben Gebäude.
Angaben in µg/m³. Nachweisgrenze 5 µg/m³

| Verbindung | B ₁ | D | B ₂ | TV |
|-----------------|----------------|------|----------------|-----|
| Formaldehyd | 41 | 57 | 17 | 60 |
| Acetaldehyd | 142 | 96 | 28 | 200 |
| Propenal | n.n. | n.n. | n.n. | 5 |
| Propanal | 22 | 15 | 7 | 20 |
| Butenal-2 | n.n. | n.n. | n.n. | 5 |
| Butanal | 14 | 28 | 15 | 10 |
| Benzaldehyd | 28 | 24 | n.n. | 50 |
| 3-Methylbutanal | 9 | 7 | n.n. | 20 |
| Pentanal | 10 | 12 | n.n. | 20 |
| Hexanal | 29 | 33 | 12 | 60 |

Erstauditorierung findet vor der Zulassung statt, Reauditierungen periodisch jedes Jahr.

6 Fallbeispiele

6.1 Beispiel 1

Ein Wohnhaus mit 47 Wohnungen (alle aus gleichen Baumaterialien) der Schweizerischen Rückversicherungs-Gesellschaft wurde im Planungsprozess bezüglich Material-emissionen optimiert, wobei Teile der „Planungsleistung Innenraumklima“ umgesetzt wurden. Nach Ende der Bauarbeiten wurden in einem der drei Bauteile mit je 15 Wohnungen Abschlussmessungen durchgeführt (siehe **Tabellen 6** und **7**).

6.2 Beispiel 2

Ein Bürohaus mit einer Geschossfläche von 9 589 m² Bürofläche der Swiss Life wurde renoviert. Das Gebäude wurde in den Rohbauzustand zurückgebaut. Anschließend wurden Bodenaufbauten, nicht tragende Zwischenwände, abgehängte Decken, alle inneren Oberflächen und sämtliche Installationen erneuert. Die Arbeiten wurden mithilfe der „Planungsleistung Innenraumklima“ optimiert und eine ökologische Baubegleitung fand statt. In der Projektierungsphase wurden Materialien und Konstruktionen auf ihr Emissionspotenzial geprüft. Dies geschah durch frühzeitige Kon-

ketisierung des Materialtyps. Die Auslüfzeiten wurden im Terminplan berücksichtigt.

In der Ausführungsphase spielte das Aufstellen und Überprüfen der Anforderungen an die Anbieter eine wichtige Rolle. Sofern möglich, fiel die Wahl auf Produkte mit emissionsrelevanten Produktlabeln. Die Angebote der Unternehmer wurden überprüft und die verwendeten Produkte und Arbeiten auf der Baustelle regelmäßig kontrolliert.

Acht Wochen nach Bauende wurden Abschlussmessungen durchgeführt. In der Zwischenzeit wurde in den Büros ohne aktive Lüftungsanlage nach einem fest vorgeschriebenen Lüftungsplan einmal täglich gelüftet. In der Direktionsetage mit Lüftungsanlage lief die Lüftungsanlage bis einen Tag vor den Messungen. In **Tabelle 5** sind die Messwerte für einzelne Räume zusammengefasst. Zur Bewertung muss jeder einzelne Raum die Zielwerte erfüllen. Dass dies bei allen Räumen zutraf, zeigen die **Maxima (Tabelle 5)**.

Die Werte bei der Überprüfung der Lüftungsanlage zeigen, dass die Anlage aus raumlufthygienischer Sicht einwandfrei funktioniert und die Filter die in der Außenluft vorhandenen Keime und den Feinstaub effektiv zurückhalten (**Tabelle 8**).

7 Diskussion

Die in den **Tabellen 3** und **5** aufgeführten Zielwerte für VOC und Aldehyde sind Werte, die pragmatisch und aus der Praxis an konkret gemessenen Objekten abgeleitet wurden. Sie sollten nicht generell bei der Beurteilung von Raumluftmessungen angewandt werden, da sie sich auf Neubauten beziehen, die generell ein höheres Schadstoffniveau aufweisen. In der heutigen Baupraxis können diese Werte unterschritten werden, wenn bereits in der Planung raumluftrelevante Kriterien bei der Wahl von Baustoffen, Konstruktionen und Lüftungssystemen berücksichtigt werden. Das Einhalten bzw. Unterschreiten der abgeleiteten Zielwerte lässt Rückschlüsse auf die Sorgfalt in der Planung und Ausführung bezüglich des Einsatzes emissionsarmer Materialien zu. Die Unterschreitung dieser Werte reduziert das Risiko, dass es zu Klagen der Gebäudenutzer kommt. Die beiden Fallbeispiele zeigen, dass sich eine Unterschreitung der Zielwerte mit einer sorgfältigen Planung und Ausführung erreichen lässt. In keinem der beiden Gebäude kam es zu Klagen.

Die Auswahl der zu messenden VOC orientiert sich an den im Anhang der Richtlinie VDI 4300 gelisteten Verbindungen [11]. Diese Liste wurde um die Verbindungen 1-Methyl-2-pyrrolidon (TV: 40 µg/m³), D5-Siloxan (TV: 300 µg/m³), 2-Butanonoxim (TV: 100 µg/m³), Decanal (TV: 10 µg/m³) Decanal-2 (TV: 2 µg/m³) ergänzt. Die Liste der zu messenden

| Parameter | Messpunkte | | | TV | Einheit |
|---------------------|------------|------|------|-------|--------------------|
| | AUL | ZUL1 | ZUL2 | | |
| Bakterien | 90 | 50 | 10 | ≤ 190 | KBE/m ³ |
| Thermoactinomyceten | n.n. | n.n. | n.n. | 0 | KBE/m ³ |
| Schimmelpilze | 143 | 10 | 7 | ≤ 120 | KBE/m ³ |
| Partikelklasse | | | | | |
| Feinstaub > 2 µm | 180 | 0 | 0 | ≤ 10 | Partikel/l |
| Feinstaub > 0,75 µm | 1300 | 138 | 110 | ≤ 150 | Partikel/l |

AUL: Außenluft, ZUL1: Zuluft Personalrestaurant, ZUL2: Zuluft Kundenzone Raum 3

Tabelle 8. Messwerte für Keime und Feinstaub für die vorhandene Lüftungsanlage.

Aldehyde entspricht den Verbindungen in Tabelle 5. Sowohl bei den Aldehyden als auch bei den VOC werden zusätzlich identifizierte und quantifizierte Verbindungen einzeln beurteilt.

Um die raumlufthygienische Qualität in neuen Gebäuden zu beurteilen, wird in der Literatur auch der Ansatz beschrieben, Musterräume, die mit teilweise emissionsgeprüften und freigegebenen Materialien erstellt wurden, messtechnisch zu untersuchen [15]. Der hier vorgestellte Ansatz geht in eine andere Richtung, da schlussendlich der fertige Bau, so wie er bezogen wird, für die tatsächlichen Belastungen relevant ist und gemessen und zertifiziert werden soll. Dies hat den Vorteil, dass die in der Baupraxis immer auftretenden Unwägbarkeiten, wie die Verwendung nicht ausgeschriebener Produkte, Unternehmerwechsel oder zusätzliche Subunternehmer, die nicht freigegebene Produkte verwenden, berücksichtigt werden. Die Praxis zeigt, dass die Optimierung des Innenraumklimas und seine Überprüfung und Zertifizierung, auch ohne gesetzlich verbindliche Grenzwerte, mit vertretbarem Aufwand machbar ist. Neue Produktrezepte verändern das Schadstoffspektrum in der Raumluft und neue Erkenntnisse über fotochemische Reaktionen in der Raumluft machen es notwendig, die zu prüfende Auswahl der Verbindungen regelmäßig neu festzulegen.

8 Fazit

Die Erfahrung zeigt, dass der frühzeitig gefasste und kommunizierte Beschluss, das Innenraumklima mit Abschlussmessungen zu überprüfen und Gebäude mit einem Label auszuzeichnen, sich positiv auf den ganzen Planungsprozess auswirkt. Insbesondere die Materialwahl kann durch eine dafür zuständige Fachperson bezüglich des Emissionspotenzials entscheidend beeinflusst werden. Die Kosten für die ökologische Baubegleitung einschließlich der Abschlussmessungen beliefen sich bei den beschriebenen Gebäuden auf 0,1 bis 0,2 % der Baukosten. Dies entspricht beim Gebäude der SwissLife < 60 Cent/m³ Bauvolumen nach SIA 416 [16].

Darüber hinaus erzeugt die Kommunikation der Bemühungen von Seiten der Bauherrn eine wohlwollende und, bei nie auszuschließenden Beanstandungen, tolerantere Grundhaltung bei den späteren Nutzern. Aus diesem Grunde gibt z. B. die Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft die Zertifikate zusammen mit den Bauunterlagen an die Nutzer ihrer Gebäude weiter und macht damit gute Erfahrungen.

Literatur

- [1] Coutalides, R.; Ganz, R.; Sträuli, W.: Innenraumklima – Keine Schadstoffe in Wohn- und Arbeitsräumen. Zürich: Werd 2002.
- [2] Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Empfehlung SIA 112/1. Zürich 2004.
- [3] Gutes Innenraumklima ist planbar. KBOB/IPB-Empfehlung 2004/1. Hrsg.: Bundesamt für Bauten und Logistik 2004. www.kbob.ch
- [4] Schleibinger, H.; Hott, U.; Marchl, D.; Pliening, P.; Braun, P.; Rüdten, H.: Ziel und Richtwerte zur Bewertung der VOC-Konzentration in der Innenraumluft – ein Diskussionsbeitrag. Umweltmed. Forsch. Prax. 7 (2002) Nr. 3, S. 139-147.
- [5] Behörde für Wissenschaft und Gesundheit: Richtwerte für die Innenraumluft. Hamburg (2005). <http://fhh.hamburg.de/stadt/Aktuell/behoerden/bsg/verbraucherschutz/umwelteinflusse/tox/s2-toxi.html>
- [6] Wolkoff, P.; Wilkins, C. K.; Clausen, P. A.; Nielsen, D.: Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. Indoor air 16 (2006) Nr. 1, S. 7-19.
- [7] Pluschke, P.: Luftschadstoffe in Innenräumen. Berlin: Springer 1996.
- [8] www.minergie.ch
- [9] Bischof, W.; Bullinger-Naber, M.; Kruppa, B.; Müller, B. H.; Schwab, R. (Hrsg.): Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden – Ergebnisse des ProKlima-Projektes. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2003.
- [10] SIA 382/1: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Zürich 2006.
- [11] VDI 4300 Blatt 6: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messtrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC). Berlin: Beuth 2000.
- [12] DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 6: Bestimmung von VOC in der Raumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA®, thermische Desorption und Gaschromatographie mit MS/FID. Berlin: Beuth 2002.
- [13] VDI 4300 Blatt 3: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Messtrategie für Formaldehyd. Berlin: Beuth 2000.
- [14] www.s-cert.ch, www.innenraumklima.ch
- [15] Braun, R.; Schmidt, W.: Planungs- und baubegleitende Berücksichtigung raumlufthygienischer Aspekte bei der Sanierung eines Bürogebäudes. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 65 (2005) Nr. 6, S. 257-262.
- [16] SIA 416: Flächen und Volumen von Gebäuden. Zürich 2003.