Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 26: SIA-Heft, 3/1978: Dimensionierungsprobleme bei Heizungsanlagen

Artikel: Das Oberflächen-Kondenswasser-Kriterium
Autor: Venosta, Federico
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73712

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Oberflächen-Kondenswasser-Kriterium

Von **Federico Venosta**, Zürich

In der Diskussion um die *Bemessung des Wärmeschutzes von Hochbauten* gilt folgende Formulierung der *Mindestanforderung:* «Die Wärmedurchgangszahlen der äusseren Raumabschlüsse (Wände, Decken, Böden) müssen so gewählt werden, dass bei bestimmten Annahmen der Raumtemperatur, der Aussentemperatur und der relativen Feuchte im Raum kein Kondenswasser an der Innenseite der Abschlüsse entstehen darf.» Dabei wird davon ausgegangen, dass Kondensation um so eher entsteht, je tiefer die innere Oberflächentemperatur unter der Raumtemperatur liegt. Das ist der Fall, wenn die Aussentemperatur möglichst tief angenommen wird. In der Literatur findet man je nach Autor für diese Annahme verschiedene Zahlen. Oft genannte Werte sind z. B.: $\vartheta_i = 20$ °C, $\vartheta_a = -10$ bis -15 °C und rel. Feuchte 40 bis 50%.

Zum *Kondensationskriterium* ist folgendes *einzuwenden:*

1. Die Luft eines jeden Raumes stammt von aussen. Wird dieser Luft keine zusätzliche Feuchte zugeführt, dann entsteht keine Kondensation. Ihre *absolute* Feuchte ist gleich der der Aussenluft. Für die Entscheidung, ob Kondensation entsteht, ist die *Beschreibung der im Raum verdunsteten Wassermenge* unerlässlich.

2. Die Erfahrung lehrt, dass Kondensation intensiv am Anfang und am Ende der Heizperiode auftritt, und nicht zur Zeit der tiefsten Aussentemperatur.

3. Ein wesentlicher Klimafaktor, nämlich die *Feuchte der Aussenluft,* ist im Kriterium nicht enthalten.

4. Eine zutreffende Darstellung des Kondensationsvorganges kann nur geleistet werden, wenn *Aussentemperatur und Aussenfeuchte als zeitabhängige Funktionen* betrachtet werden.

Diese Einwände machen eine *Revision des Kondensationskriteriums notwendig.* Im Interesse einer guten Übersicht wird hiefür die mathematische Formulierung gewählt. Selbstverständlich ist der Weg über Tabellen und Graphik, wie bisher, ebensogut möglich.

Innere Oberflächentemperatur

Mit den Bezeichnungen in Bild 1 gilt folgendes *Verhältnis zwischen dem Wärmedurchgang und den Temperaturen.*

ϑ	= Temperatur	°C
x	= absolute Feuchte	g/m³
k	= Wärmedurchgangszahl	kal/m² h °C
α	= Wärmeübergangszahl	kal/m² h °C

$$\frac{k}{\alpha_i} = \frac{\vartheta_i - \vartheta_{oi}}{\vartheta_i - \vartheta_a}$$

woraus folgt:

$$(1) \qquad \vartheta_{oi} = \vartheta_i - \frac{k}{\alpha_i} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a)$$

Aussenluft

Die Temperatur der Aussenluft ϑ_a ist eine Folge der mit der Jahreszeit ändernden Sonneneinstrahlung, und diese wiederum ist eine Folge der Drehung der Erde um die Sonne, also im weiten Sinne eine Kreisfunktion. Für viele Orte kennt man die monatlichen Mittelwerte der Temperatur. Das zugehörige Bild zeigt angenähert eine cos-Kurve (Bild 2), so dass es für den vorliegenden Zweck genügt zu schreiben:

$$(2) \qquad \vartheta_a = a_1 - a_2 \cos t$$

Darin bedeutet t die Zeit in Tagen. Die Funktion wird auf den Zeitpunkt der tiefsten Temperatur bezogen, die ca. beim 15. Januar liegt. (Vereinfachend soll mit 360 Tagen je Jahr gerechnet werden.) Es ist dann 1 Tag ca. 1 Altgrad.

Als Beispiel kann man für das schweiz. Mittelland mit $a_1 = 8{,}5$ und $a_2 = 10{,}5$ rechnen.

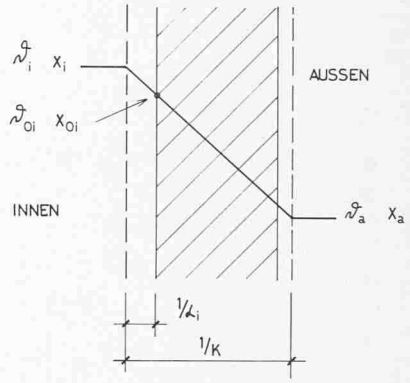

Bild 1. Wärmedurchgang und Temperaturen (Erklärung der Symbole im Text)

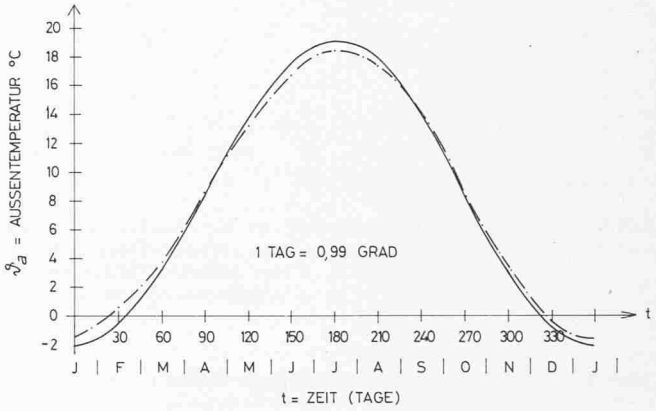

Bild 2. Mittlere Minimaltemperatur für Zürich. Gestrichelte Kurve: nach Hottinger; ausgezogene Kurve approximiert

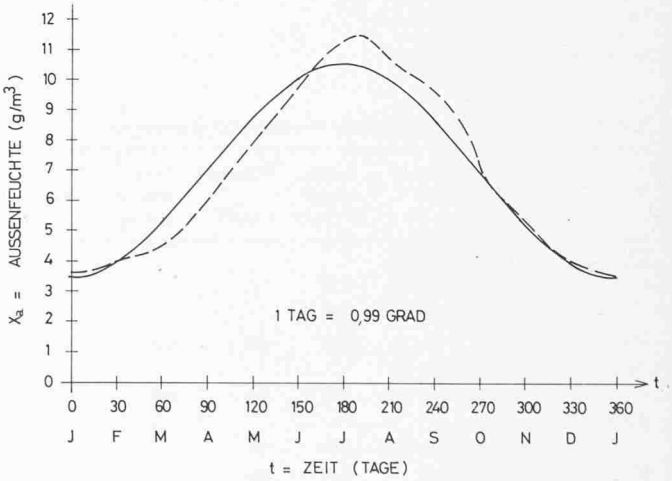

Bild 3. Monatsmittel der absoluten Feuchte der Aussenluft in Zürich. Gestrichelte Kurve: nach Hottinger; ausgezogene Kurve: approximiert

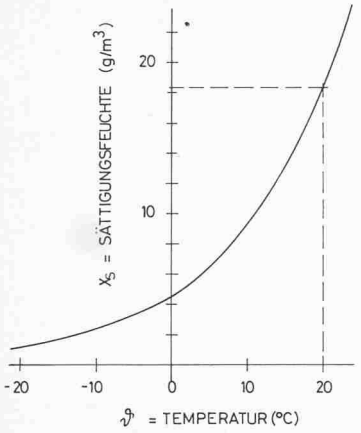

Bild 4. Verhältnis der Sättigungsmenge zu ihrer Temperatur

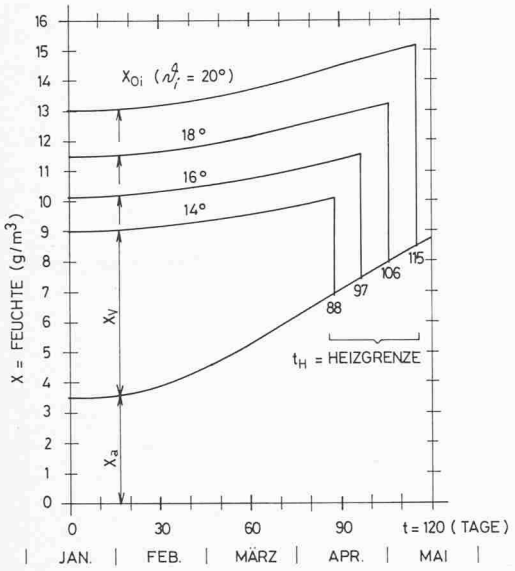

Bild 5. Zeitlicher Aufbau und Verlauf der Raumfeuchte bei $k = 1{,}0$ und $d_i = 7$ kcal/m²h °C
x_{oi} = max. zulässige Raumfeuchte
x_v = max. zulässige Verdampfung
x_a = Basisfeuchte (Aussenluft)

Tabelle 1. Kritische Zeitpunkte für Kondensation

ϑ_i	t_H	ϑ_a	x_a
20	114	12,8	8,4
18	105	11,2	7,9
16	96	9,6	7,4
14	87	8,0	6,8

t_H = halbe Heizdauer (Tage)

Tabelle 2. Grössenordnung der Verdampfungsmengen

$x_v = \frac{G}{24\,V\,n}$ (g/m³)		Tagesmenge G (g/d)	Volumen V (m³)	Luftwechsel n (l/h)	Verdunst. Feuchte x_v (g/m³)
Wohnzimmer	3 Personen zu 40 g/h in 6 h	720			
	Pflanzen	1000			
Total Wohnzimmer		1720	50	0,5	2,9
Eltern	2 Personen zu 40 g/h in 8 h	640	40	0,5	1,3
Kind erw.	Person zu 40 g/h in 8 h	320	30	0,5	0,9
Küche	Mahlzeiten	300	20	0,5	1,3
Bad	Nasswäsche	2000	10	0,5	17,0
3-Zimmer-Wohnung		4980	150	0,5	2,8

Aussenfeuchte

Analog dem eben Gesagten soll für die absolute Feuchte der Aussenluft x_a (g/m³) gelten:

(3) $x_a = b_1 - b_2 \cos t$

Für den vorliegenden Zweck ist es von Vorteil, die Luftfeuchte in Gramm Wasser je Kubikmeter Luft anzugeben (g/m³).

Die Parameter b_1 und b_2 sind den meteorologischen Aufzeichnungen zu entnehmen. Als *Richtwerte für das Mittelland* (vgl. Bild 3) seien angenommen:

$$b_1 = 7{,}0,\ b_2 = 3{,}5.$$

Sättigungsfeuchte

Es sei x der absolute Wassergehalt der Luft in Dampfform. Die Luft von ϑ (°C) vermag maximal ein bestimmtes Quantum Wasserdampf aufzunehmen. Das ist die Sättigungsmenge x_s. (Diese Menge ist verschieden, je nach Höhenlage des Ortes über Meer.) Jede weitere Zufuhr von Feuchte über die Sättigungsgrenze scheidet als Kondenswasser aus. Die relative Feuchte φ ist das Verhältnis der vorhandenen zur maximalen möglichen Feuchte, also $\varphi = x/x_s$.

Die Sättigungsmenge x_s ist streng abhängig von ihrer Temperatur (Bild 4) und lässt sich darstellen durch:

(4) $x_s = A\,e^{B\vartheta}$

In vielen Werken findet man diese Abhängigkeit für einen Luftdruck von 760 mm QS tabelliert. Die Konstante A entspricht dem Sättigungswert bei 0 °C. Kennt man noch den Sättigungswert x_s z.B. für $\vartheta = 20$ °C, dann ist

$$B = (\ln x_s - \ln A)/20.$$

Für 500 m über Meer ist $A = 4{,}5$, $B = 0{,}07$.

Maximale zulässige Verdampfung im Raum

Primär ist jeder Raum von Aussenluft erfüllt. Solange dem Raum keine zusätzliche Feuchte zugeführt wird, ist sein Dampfgehalt x_i genau gleich wie der der Aussenluft. Somit ist x_a = die Basisfeuchte des Raumes. Das gilt unabhängig davon, ob und wieviel die eintretende Luft erwärmt wird. *Ohne Verdunstungsfeuchte ist Kondensation unmöglich.* In den meisten benützten Räumen wird Wasser auf irgendeine Art verdampft. Dieses verdampfte Wasser verteilt sich in der Raumluft und erhöht ihren Wassergehalt um den Betrag x_v (g/m³). Die absolute Feuchte der Raumluft ist somit

$$x_i = x_a + x_v.$$

Damit kein Kondensat entsteht, muss die Raumfeuchte x_i kleiner sein als die Sättigungsfeuchte der Oberfläche x_{oi}. Das Kondensationskriterium lautet also

(5) $x_a + x_v < x_{oi}$

x_a ist gegeben durch Gl. (2)
x_{oi} wird berechnet aus Gl. (4), worin $\vartheta = \vartheta_{oi}$ ist
x_v ist die maximal zulässige Dampfmenge, die der Raumluft zugeführt werden darf, damit kein Kondensat entsteht.

Es gibt keine Konstruktion, die es erlaubt, beliebige Mengen Wasser ohne Kondensation zu verdampfen. Diese beschränkte Menge ist zeitlich veränderlich und beträgt

(6) $x_v = A\,e^{B\left[\vartheta_i - \frac{\alpha_i}{k}\cdot(\vartheta_i - \vartheta_a)\right]} - x_a.$

Darin sind ϑ_a und x_a Funktionen der Zeit nach Gl. (2) und (3).

Bild 5 zeigt die Auswertung von Gl. (6) für das schweiz. Mittelland. Es ist zu beachten, dass jeder Innentemperatur

eine eigene Heizdauer zugeordnet ist, wie in Tabelle 1 dargestellt.

Übereinstimmend mit der Erfahrung geht aus Bild 5 hervor, dass die Randzeiten der Heizperiode die kritischen Zeitpunkte für Kondensation sind.

Mit den Werten von Tabelle 1 liefert Gl. (6) den wichtigen Zusammenhang zwischen der maximal zulässigen Verdunstungsfeuchte x_v und dem k-Wert, gemäss Bild 6.

Entgegen den eingangs beschriebenen allgemein gültigen Kondensationskriterien ersieht man aus Bild 6, wie wenig der Wärmeschutz, bzw. der k-Wert, zur Vermeidung von Schwitzwasser beiträgt. Die *wichtige Grösse* ist in diesem Zusammenhang das im Raum verdunstete Wasser (Bild 7), also die Dampfquellen.

Dampfquellen

Wegen der zeitlich veränderlichen Basisfeuchte x_a ist die Verdampfungsintensität der inneren Dampfquellen ebenfalls zeitabhängig. Mengenmässig ist diese Wirkung gering, weshalb dieser Vorgang als *konstant* angenommen wird.

Ein erwachsener *Mensch* verdunstet durch die Lunge und durch die Haut etwa 40 Gramm Wasser je Stunde. Die Verdampfung erfolgt bei einer konstanten Körpertemperatur von ca. 37 °C. Je nach Tätigkeit, Sättigungsgrad und Temperatur der Raumluft kann diese Menge leicht variieren. Das täglich den *Pflanzen* zugeführte Wasser verdampft restlos. Wenn z. B. in einem Wohnzimmer ein Liter Wasser zum Begiessen der Pflanzen verwendet wird, dann sind es 1000/24 = 41 g/h.

Bei der *Zubereitung der Mahlzeiten* wird ebenfalls Wasser verdampft. Diese Menge wird je nach Gepflogenheit stark schwanken. Für einen durchschnittlichen Haushalt könnte man beispielsweise 300 g über eine Kochdauer von 2 Std., also 150 g/h, annehmen. Beim *Baden* ist die Verdampfung intensiv. Die Luftfeuchte kann kurzzeitig die Sättigungsgrenze überschreiten, und es bildet sich Nebel. Niederschlag an den kühlen Oberflächen ist unvermeidlich. Wird der Raum anschliessend an die Benützung gelüftet, so wird das Kondensat bald schadlos verdunsten.

Prekär wird die Situation, wenn das *Badezimmer als Waschküche und Trockenraum* benützt wird. Bleiben Fenster und Türe geschlossen, dann sind die Kondensationsfolgen unvermeidlich. Nimmt man als Beispiel eine Tageswäsche von 2 kg Nassgewicht an, dann ist die Dampfproduktion 2000/24 = 83 g/h.

Alle diese genannten Dampfmengen verteilen sich auf das Luftvolumen des jeweiligen Raumes. Nun findet auch bei geschlossenen Räumen ein fortlaufender Luftwechsel statt. Frische Aussenluft kommt durch die Fenster- und Türfälze herein, und das gleiche Volumen feuchter Innenluft strömt nach aussen ab.

Dieser Vorgang wird durch die Luftwechselzahl n (l/h) beschrieben, die angibt, in wieviel Stunden das Raumvolumen erneuert wird. Es ist das Verdienst von *Bargetzi, Hartmann* und *Pfiffner* diesen komplexen Zusammenhang zum Teil in der Schweiz. Bauzeitung, Heft 14, 1977, qualitativ und quantitativ beschrieben zu haben.

Effektive Verdampfungsfeuchte

Stellt man die wenigen und willkürlich gewählten Beispiele aus dem Wohnungsbau zusammen, so zeigt Tabelle 2, wie man die Grössenordnung der Verdampfungsmengen im konkreten Fall aufzeigen kann.

Kurzzeitig kann die Intensität der Verdampfung auf das Mehrfache (Küche, Bad) ansteigen. Eine Luftwechselzahl von 0,5/h bedeutet dichte Fenster und Türen sowie schwache

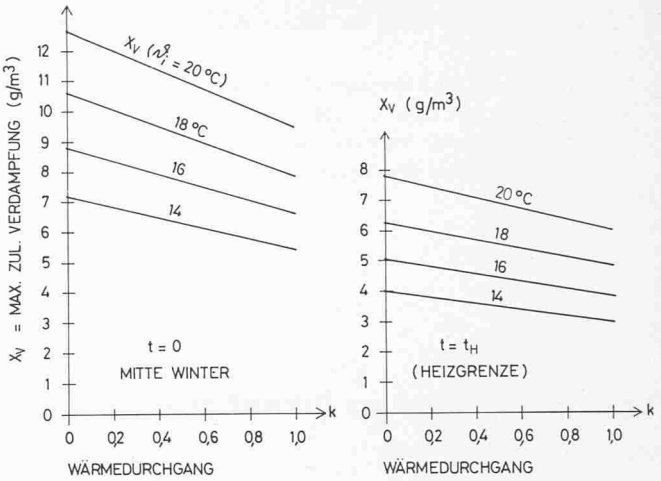

Bild 6. Maximal zulässige Verdunstung in Abhängigkeit der Wärmedurchgangszahl k (kcal/m²h °C)

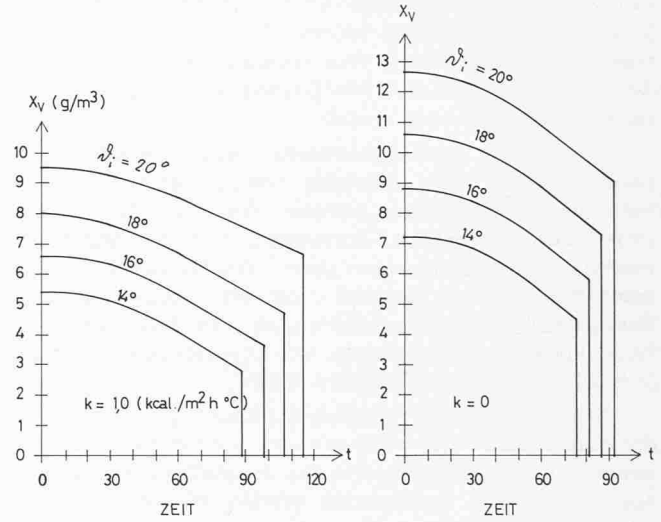

Bild 7. Zeitlicher Verlauf der maximal zulässigen Verdunstungsfeuchte

Fensterlüftung. Je nach Objekt und Bewohner ist n = 0,2 bis 3,0, was einem Wohnungsdurchschnitt von x_v 7,0 bis 0,5 (g/m³) entspricht.

Zusammenfassung

1. Die Hauptursache für Kondensationsbildung ist das im Raum verdunstete Wasser. Die Menge schwankt innerhalb weiter Grenzen, je nach Verhalten der Raumbenützer. Bei vernünftigem Verhalten und bei normaler Raumtemperatur, wie z. B. ϑ_i = 20 °C, entsteht erfahrungsgemäss kein Kondensat.

2. Auch bei hoher Verdampfungsintensität lässt sich durch zweckmässiges Lüften Schwitzwasserbildung vermeiden.

3. Die Neigung zu Kondensation ist um so grösser, je tiefer die Raumtemperaturen liegen. Das ist besonders in Krisen- und Kriegszeiten der Fall.

4. Wie Bild 6 zeigt, lässt sich mit verstärktem Wärmeschutz relativ wenig ausrichten.

Die zu ziehenden *Schlussfolgerungen* sind folgende:

- Das Kondensationskriterium ist kein geeignetes Mass für den Wärmeschutz.
- Die Bemessung der Isolierstärken nach den auf die Gegenwart bezogenen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ist das

Mindestmass, was man an Wärmedämmvorschriften *verlangen muss.*

- Im Hinblick auf die kommenden Energieprobleme und unter Berücksichtigung, dass für Heizzwecke rund 50% des Gesamtenergiebedarfes verbraucht werden, kann man den Wärmeschutz kaum übertreiben.

Die *nachträgliche Wärmedämmung* dagegen ist – wenn überhaupt möglich – nur mit grossem technischem und wirtschaftlichem Aufwand zu bewerkstelligen.

Adresse des Verfassers: *F. Venosta,* Architekt, Olgastrasse 10, 8001 Zürich.

Lärmprobleme an Eisenbahnlinien

Von **H. U. Scherrer,** Zürich

Problemstellung

Die mit dem Ansteigen des allgemeinen Lärmpegels verbundene Sensibilisierung der Bevölkerung führt zu immer häufiger werdenden Klagen über Lärmbelästigungen. Die Toleranz gegenüber zusätzlichem Lärm nimmt mit den zunehmenden allgemeinen Geräuschbelästigungen stetig ab, d.h. die Empfindlichkeit der Bevölkerung gegenüber Veränderungen des Lärmmasses wächst.

Bestehenden Lärmimmissionen kann, natürlich bis zu einem gewissen Grad abhängig vom sozialen Status des Betroffenen, ausgewichen werden. Wo aber durch Infrastrukturvorhaben starke Änderungen der Belärmung zu erwarten sind, entstehen sofort neue Konflikte mit den Lärmbetroffenen. Dieser Tatsache trägt im übrigen auch das Bundesgericht in seinen Entscheiden über Entschädigungsforderungen für Immissionen von Autobahnen Rechnung (z.B. BGE 94 I 286 ff., BGE 95 I 490 ff.).

Derartige Lärmprobleme sind bisher vor allem entlang der Autobahnen offenkundig geworden und in dem Mass sind weitgehend auch die erforderlichen Grundlagen zur Analyse des Strassenlärms bereitgestellt worden [5]. Auch an neuerbauten Eisenbahnlinien ist mit Immissionen zu rechnen, die die Lärmverhältnisse stark ändern und die vorteilhaft bereits im Projektierungsstadium mitberücksichtigt werden.

Diese Erfordernisse wurden bei der im Zuge des Ausbaus der Flughafenlinie Kloten neu projektierten Linienverlegung bei Bassersdorf – auch als Auflage des eisenbahnrechtlichen Plangenehmigungsverfahren – von den SBB, namentlich Baukreis III, in vorbildlicher Weise wahrgenommen (vgl. Bild 1). Entlang dieser Linie werden neben den üblichen Projektierungsarbeiten auch die zu erwartenden Lärmprobleme untersucht und mit der bereits heute bestehenden Lärmsituation verglichen. Inhaltlich besteht diese Lärmuntersuchung aus:

- der Analyse des Ist-Zustandes
- der Analyse des zukünftigen Zustandes
- einer Analyse der zu erwartenden Konflikte zwischen Siedlung und Schienenlärm
- dem Vorschlag möglicher Lärmschutzmassnahmen sowie
- einer abschliessenden Bilanzierung der verschiedenen untersuchten Belärmungszustände.

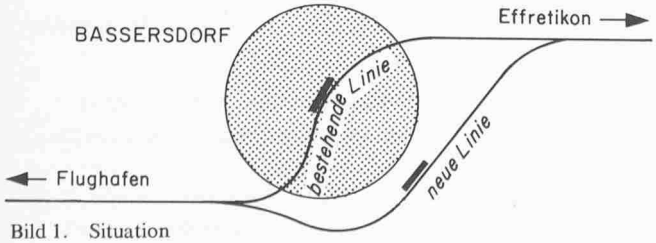

Bild 1. Situation

Besondere Probleme des Bahnlärms

Im Gegensatz zum Strassenlärm, wo auf eine umfangreiche, auch schweizerische Literatur zurückgegriffen werden kann, und wo z.B. im Schlussbericht [1] der vom ASF eingesetzten Expertenkommission sowohl Immissionsgrenzwerte als auch ein Emissions- und Ausbreitungsmodell präsentiert werden, sind Grundlagen des Bahnlärms eher spärlich zu finden und können nicht unbesehen für die anzustellenden Untersuchungen angewandt werden.

Mit dem Zweck, die Grundlagen auch von wissenschaftlicher Seite her so weit als möglich abzustützen, wurde zur fachlichen Begleitung das sogenannte Beraterteam einberufen. Berater für physikalisch-akustische Probleme (Emissionen) waren Herr Prof. A. Lauber und Dr. R. Hofmann von der EMPA Dübendorf, im Bereich der sozial-medizinischen Probleme (Immissionen), Prof. E. Grandjean vom Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich und für Verhaltensprobleme (Befragung) Dr. H. Weiss von der IMR AG, Institut für Marktforschung.

Bevor die eigentliche Analyse der Situation in Bassersdorf aufgenommen werden konnte, waren insbesondere die folgenden Fragen abzuklären und zu lösen:

- Welches Lärmmass ist für den Bahnlärm am besten geeignet? Vom Strassenlärm her kennt man in der Schweiz z.B. den statistischen Pegel L_{50}. Die besondere Art des intermittierenden Charakters des Bahnlärms macht dieses Mass hierfür jedoch ungeeignet. Aus verschiedenen Überlegungen wurde schliesslich der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} gewählt (Bild 2).
- Wie soll ein Emissions- und Ausbreitungsmodell gestaltet sein, damit es erlaubt, Lärmprognosen anzustellen? Der grundsätzliche Aufbau des verwendeten Modells wird im folgenden Kapitel dargestellt.
- Welche Immissionsgrenzwerte sollen für den Schutz der Siedlung vor Bahnlärm gelten? Diese Fragestellung wäre an sich nur durch umfangreiche soziopsychologische Untersuchungen verbindlich zu beantworten. In einem nachfolgenden Kapitel werden dazu einige Gedanken geäussert.

Lärmmodell

Das verwendete Lärmmass, der energieäquivalente Dauerschallpegel, lässt sich aus dem Mittelwert der in einer Zeiteinheit (z.B. einer Stunde) emittierten Schallenergie berechnen,