

Das Oberflächen-Kondenswasser-Kriterium

Autor(en): **Venosta, Federico**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 26: **SIA-Heft, 3/1978: Dimensionierungsprobleme bei Heizungsanlagen**

PDF erstellt am: **16.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73712>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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.: $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$, $\vartheta_a = -10$ 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 hierfür die mathematische Formulierung gewählt. Selbstverständlich ist der Weg über Tabellen und Graphik, wie bisher, ebenso gut möglich.

Innere Oberflächentemperatur

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

ϑ = Temperatur	$^\circ\text{C}$
x = absolute Feuchte	g/m^3
k = Wärmedurchgangszahl	$\text{kal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$
α = Wärmeübergangszahl	$\text{kal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$
$\frac{k}{\alpha_i} = \frac{\vartheta_i - \vartheta_{oi}}{\vartheta_i - \vartheta_a}$	

woraus folgt:

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

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:

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

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.

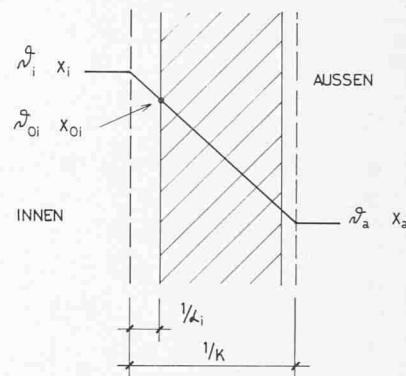


Bild 1. Wärmedurchgang und Temperaturen (Erklärung der Symbole im Text)

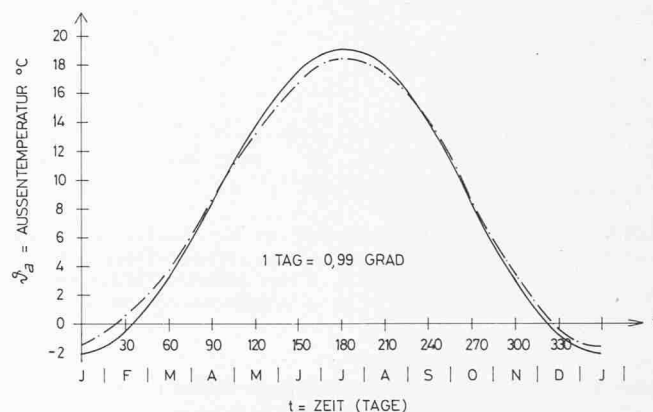


Bild 2. Mittlere Minimaltemperatur für Zürich. Gestrichelte Kurve: nach Hottinger; ausgezogene Kurve approximiert

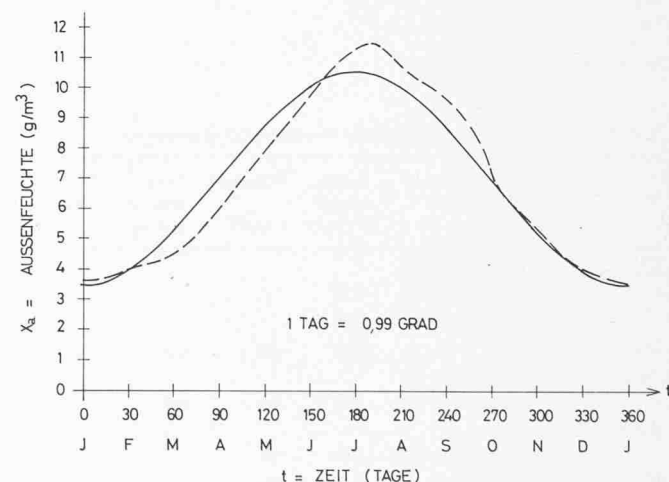


Bild 3. Monatsmittel der absoluten Feuchte der Aussenluft in Zürich. Gestrichelte Kurve: nach Hottinger; ausgezogene Kurve: approximiert

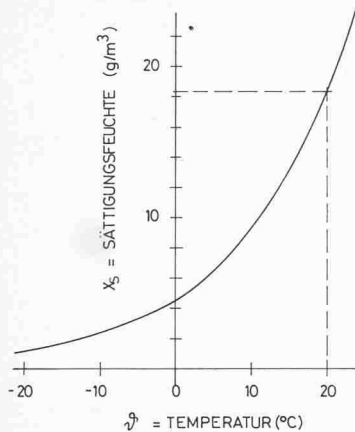


Bild 4. Verhältnis der Sättigungsmenge zu ihrer Temperatur

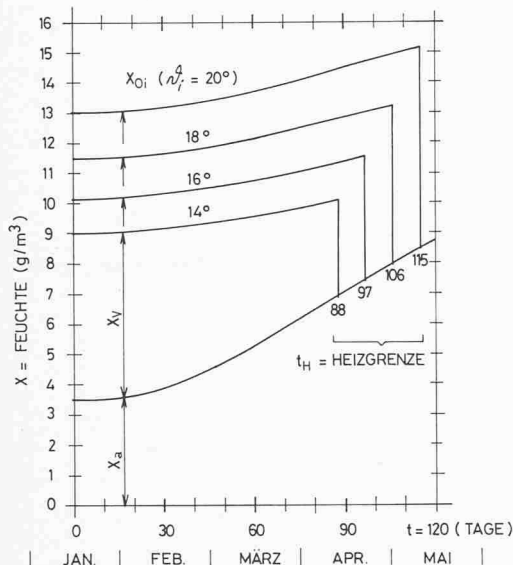


Bild 5. Zeitlicher Aufbau und Verlauf der Raumfeuchte bei $k = 1,0$ und $d_i = 7 \text{ kcal/m}^2 \text{h } ^\circ\text{C}$
 x_{oi} = max. zulässige Raumfeuchte
 x_v = max. zulässige Verdampfung
 x_a = Basisfeuchte (Aussenluft)

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

$x_v = \frac{G}{24 V n} \text{ (g/m}^3\text{)}$	Tagesmenge $G \text{ (g/d)}$	Volumen $V \text{ (m}^3\text{)}$	Luftwechsel $n \text{ (l/h)}$	Verdunst. Feuchte $x_v \text{ (g/m}^3\text{)}$
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 $x_a \text{ (g/m}^3\text{)}$ gelten:

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

Für den vorliegenden Zweck ist es von Vorteil, die Luftfeuchte in Gramm Wasser je Kubikmeter Luft anzugeben $\text{(g/m}^3\text{)}$.

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

$$b_1 = 7,0, \quad b_2 = 3,5.$$

Sättigungsfeuchte

Es sei x der absolute Wassergehalt der Luft in Dampfform. Die Luft von $\vartheta \text{ (}^\circ\text{C)}$ 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:

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

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 $\vartheta = 20^\circ\text{C}$, 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 $x_v \text{ (g/m}^3\text{)}$. 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

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

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

$$(6) \quad x_v = A e^{B [\vartheta_i - \frac{x_i}{k} (\vartheta_i - \vartheta_a)]} - x_a.$$

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 verdunstet restlos. Wenn z.B. in einem Wohnzimmer ein Liter Wasser zum Begiessen der Pflanze 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 Dampfmenigen 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 Türfalte 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 Verdampfungen 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

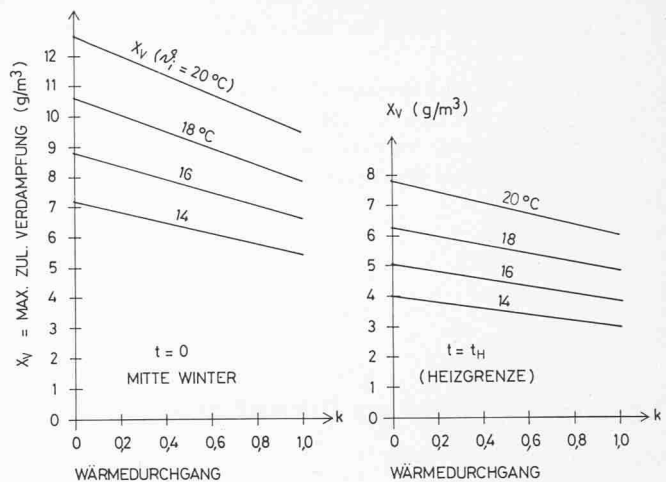


Bild 6. Maximal zulässige Verdunstung in Abhängigkeit der Wärmedurchgangszahl k (kcal/m²h °C)

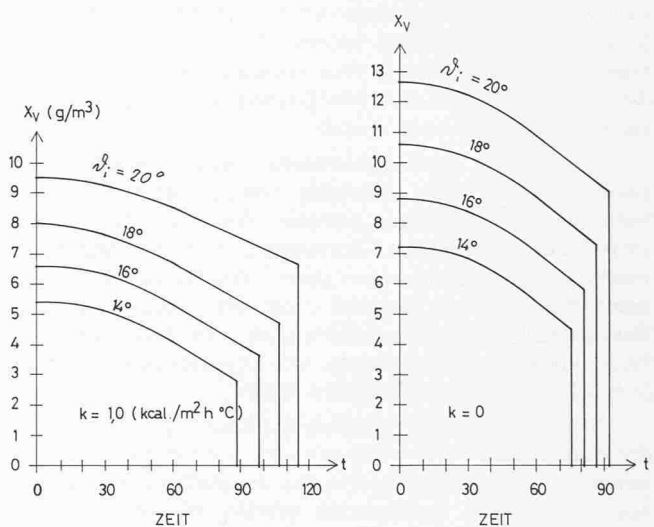


Bild 7. Zeitlicher Verlauf der maximal zulässigen Verdunstungsfeuchte

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 vernünftigen Verhalten und bei normaler Raumtemperatur, wie z.B. $\vartheta_i = 20$ °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 Lärmniveaus 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 neubauten 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

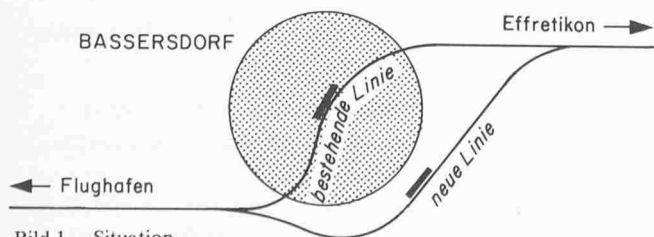


Bild 1. Situation

- dem Vorschlag möglicher Lärmschutzmassnahmen sowie
- einer abschliessenden Bilanzierung der verschiedenen untersuchten Belärmungszustände.

Besondere Probleme des Bahnlarms

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