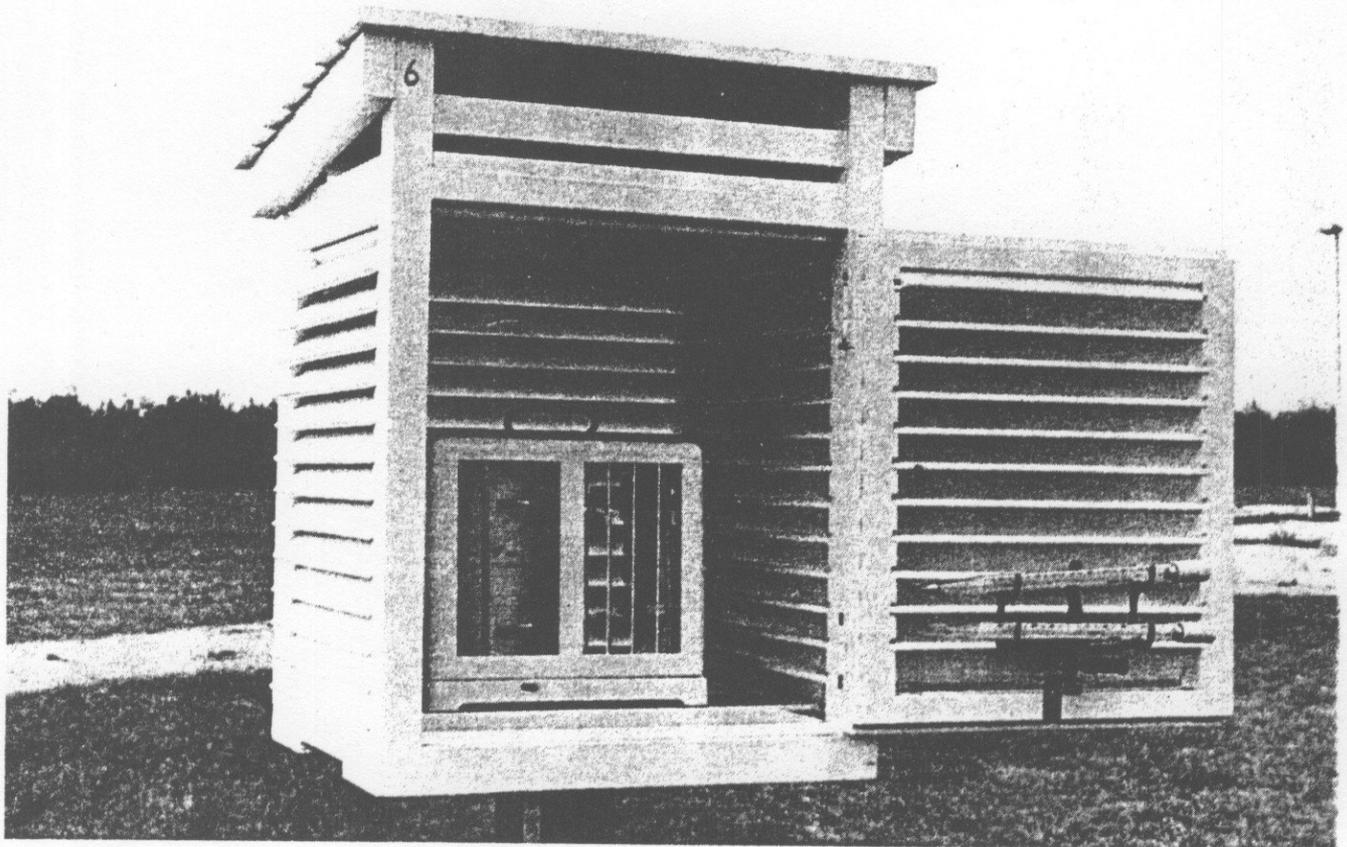


# Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren



Die Bemühungen um eine gesunde Umwelt im Ruhrgebiet haben einen hohen Stellenwert. Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren spielen dabei eine wichtige Rolle. Die langjährigen Erfahrungen des Kommunalverbandes Ruhrgebiet sollen auf der Tagung dargelegt und mit den Praktikern der Mitgliedsgemeinden und -kreise diskutiert werden.



DAS RUHRGEBIET.

Kommunalverband  
Ruhrgebiet

J. Theobald  
W. Kuttler

# Biologischer Schallschutz in der Stadt

Aus:  
Kommunalverband Ruhrgebiet (Hrsg.):  
Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren.  
= Planungshefte Ruhrgebiet, P 020. S. 101-119.

# Biologischer Schallschutz in der Stadt

Jürgen Theobald und Wilhelm Kuttler, Universität – GH – Essen

## I. Einleitung und Problemstellung

Immer mehr Menschen fühlen sich durch Lärm gestört oder belästigt. 60 bis 70 Prozent von ihnen geben als Hauptlärmquelle den Straßenverkehr an. Gerade im dicht besiedelten und für den Straßenverkehr besonders gut erschlossenen städtischen und randstädtischen Bereich von Ballungsräumen müssen die Menschen vom Lärm der Kraftfahrzeuge abgeschirmt werden.

Neben dem baulichen Schallschutz wie z. B. durch Isolierverglasung oder doppelwandiges Mauerwerk bietet sich hierbei die Einfügung von Schallschutzanlagen zwischen Emittent und Immissionsort an. Hinsichtlich ihres Raumbedarfes lassen sich folgende Systeme unterscheiden:

**a) Lärmschutzwände:** Sie benötigen den geringsten Standraum und verfügen bei ausreichender Höhe über ein gutes bis sehr gutes Lärminderungsvermögen. Auf die Lebensräume von Mensch und Tier üben sie allerdings eine hohe Trennwirkung aus ("Verinselungsproblem", Mader, 1979) und sind nicht zuletzt deshalb für Stadtstraßen ungeeignet.

**b) Steilwälle aus Betonfertigteilen:** Sie verfügen im Prinzip über die gleichen Eigenschaften wie die Wände, bieten jedoch den Vorteil, daß sie bepflanzt werden können und somit auch ästhetischen Ansprüchen eher gerecht werden.

**c) Erdwälle:** Mit z. T. vollständiger Begrünung können sie auch aus ökologischer Sicht in vieler Hinsicht als vorteilhaft eingestuft werden. Das relativ ungünstige Verhältnis von Grundfläche zu Höhe begrenzt jedoch deren Einsatzmöglichkeiten. Steht nur wenig Raum für Lärminderungsmaßnahmen zur Verfügung, so scheidet die Anlage eines Erdwalls wegen zu geringer Höhe aus.

**d) Lärmschutzpflanzungen und -bestände:** Wegen ihres variablen Raumbedarfes und ihrer Kombinierbarkeit mit Erdwällen sind sie oft die sinnvollste Form des passiven Schallschutzes und sollten aufgrund ihrer akustischen und hohen ökologischen Wertigkeit Verwendung finden.

Dieser Beitrag behandelt die Probleme, mit denen Gehölze im Lebensraum Stadt konfrontiert werden, und geht der Frage nach, welchen Belastungen sie standhalten müssen, um den Ansprüchen des Lärmschutzes gerecht zu werden.

Die Einsatzmöglichkeiten von Lärmschutzpflanzungen reichen von der Umrahmung städtischer Grünanlagen, Parks, Friedhöfen, Sport-, Spiel- und Erholungsflächen über den ein- oder mehrseitigen Schutz von Krankenhäusern, Altenheimen und Bildungseinrichtungen bis zum Begleitgrün für Ausfall- und Umgehungsstraßen oder Kernumgehungen. In Gebieten mit dichter Besiedlung oder starker Überbauung muß man sich allerdings auf Hecken, Vorgarten- und Fassadengrün beschränken.

Hinsichtlich ihrer lärmindernden Wirkung geben Schreiber (1971) und VDI 2714E (1976) für Pflanzungen zwar Dämpfungswerte in Dezibel pro Meter Bestandstiefe an, doch sind diese Hinweise ohne Differenzierung nach Struktur, Dichte, Wuchshöhe sowie Artenzusammensetzung und -verteilung in der Pflanzung nur bedingt verwendbar.

Bei entsprechender Ausprägung der Bestände kann biologischer Schallschutz mit technischen Systemen durchaus konkurrieren (Beck, 1982).

Wenn auch der biologische Lärmschutz bei den in Städten besonders beengten Raumverhältnissen nicht die Dämpfungswerte erreichen kann, wie sie im Freiland möglich sind, so ist er doch in der Lage, schädliche Lärmimmissionen erheblich zu reduzieren. Entscheidend hierfür ist jedoch eine gesunde und kräftige Entwicklung der Einzelpflanzen, aus denen der Bestand zusammengesetzt ist.

## 2. Ökologische Bedingungen für Lärmschutzpflanzungen in der Stadt

Im folgenden sollen die für den Schallschutz wichtigsten, die Bonität und das Wachstum von Lärmschutzpflanzungen bestimmenden Eigenschaften im Lebensraum Stadt vorgestellt und erörtert werden.

### 2.1 Boden und Nährstoffversorgung

Der Boden und damit die pflanzliche Nährstoffversorgung hängen im Freiland in erster Linie von den Faktoren Relief, Wasser und Klima ab. Im urbanen System unterliegen sie hingegen zusätzlich einer häufig wechselnden und örtlich differenzierten anthropogenen Überformung durch Aufschüttung, Abtragung, Planierung, Überbauung und Verdichtung. Charakteristisch für die meisten Stadtböden ist die auch auf engstem Raum auftretende Fülle der Übergänge von flachgründigen, armen Trümmerschuttböden bis zu tiefgründig humosen Hortisolen mit geringem Schuttanteil.

Schulte (1985) faßt die wichtigsten Eigenschaften städtischer Aufschüttungsböden folgendermaßen zusammen:

- Sie besitzen einen oft hohen Mörtel- und Ziegelanteil sowie in Abhängigkeit hiervon einen erhöhten Kalkgehalt.
- Sie verfügen über einen teilweise hohen Skelettanteil, der zu einer spürbaren Zunahme der Grobporen führt und somit in Verbindung mit dem in Städten häufig abgesenkten Grundwasserspiegel einen angespannten Wasserhaushalt bedingt.

Der pH-Wert des urbanen Bodensubstrats liegt aufgrund des hohen Anteils an calciumcarbonatreichem Bauschutt und Mörtel mit pH 7 bis 7,5 meist im neutralen bis leicht basischen Bereich. Hieraus kann ein Versorgungsdefizit an Nährstoffen resultieren, da diese bei hohem pH nur schwer löslich sind. Diese Nährstoffe liegen in der nachlieferbaren oder der Reservefraktion vor und sind daher nur langfristig verfügbar.

Normalerweise findet der Nachschub an Mineralstoffen in die obersten Bodenschichten durch Laubfall und Streuzersetzung statt. Um die häufig schlechte Nährstoffversorgung der Stadtböden auszugleichen, sollte daher bei Lärmschutzpflanzungen die Selbstdüngung genutzt und auf ein Entfernen von Laubstreu verzichtet werden.

Eine Anpflanzung von streuhaltenden Bodendeckern unter Bäumen wird sich in diesem Zusammenhang positiv auf die Humusbildung und den Nährstoffkreislauf auswirken. Durch Bauschutt, Straßenkehrschutt, Staub und Hundekot steht zwar eine Vielzahl anderer Nährstoffquellen zur Verfügung, doch können auf diese Weise die physiologischen Bedürfnisse der meisten Stadtpflanzen nicht befriedigt werden.

Aufgrund der bereits erwähnten, gerade im städtischen Bereich häufig extrem kleinräumig wechselnden Standortbedingungen ist es ratsam, Arten zu verwenden, die nur geringe Ansprüche an ihren Lebensraum stellen. Sie können auch weniger gute Lebensbedingungen ertragen, ohne wesentlich zu kümmern. Pioniergehölze kommen hier also besser zurecht und können anspruchsvolle Schutzgehölze überwuchern. Pflanzen mit eng umgrenzten Standortansprüchen werden auf den im städtischen Bereich häufig gegebenen Standorten versagen. Für derartige Pflanzen ist also eine genaue, substratspezifische Standorterkundung besonders wichtig.

Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit gerade der obersten Bodenschichten werden durch Verdichtungen infolge von Befahren und Betreten sowie durch Sackungen stark behindert. Hierdurch sinkt der Grobporenanteil (über 10<sup>4</sup> m), wodurch die O<sub>2</sub>-Versorgung von Wurzeln und Organismen erschwert wird. Folgen sind nach Meyer (1978) unter anderem gehemmtes Wurzelwachstum, behinderte Wasser- und Nährstoffaufnahme sowie reduzierte Mykorrhizavielfalt und -vitalität.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß eine Melioration oder im Extremfall sogar der völlige Bodenaustausch als Voraussetzung für die Anlage einer Lärmschutzpflanzung manchmal unumgänglich sind. Dabei ist auf eine im Planungsablauf möglichst frühzeitige Durchführung dieser Maßnahmen zu achten. Aus wirtschaftlichen Erwägungen ist es zudem sinnvoll, die Lärmschutzpflanzung aus Arten mit möglichst ähnlichen Standortansprüchen zusammenzustellen.

## 2.2 Wasserhaushalt

Kennzeichnend für urbane Lebensräume sind der hohe Versiegelungsgrad der Oberflächen sowie eine nahezu vollständige Verrohrung und Kanalisierung. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Vitalität einer Schutzpflanzung wesentlich von ihrer Wasserversorgung abhängt. Bedingt durch die starke Verdichtung nimmt der Stadtboden aber weniger Wasser auf. Hinzu kommt, daß sich der größte Teil der Niederschläge über Dachrinne, Rinnstein und Drainage im Netzwerk der Kanalisation sammelt.

Zusätzlich senken Tiefbaumaßnahmen den Grundwasserspiegel soweit ab, daß selbst Tiefwurzler wie *Quercus*, *Robinia* und *Platanus* den Kapillarraum nicht mehr erreichen. Hinzu kommt, daß durch den hohen Versiegelungsgrad der kapillare Rückstrom von Grund- und Bodenwasser beeinträchtigt wird.

Die Pflanzen reagieren kurzfristig auf Wassermangel mit einer verminderten Photosyntheseleistung. Langfristig verringern Bäume ihre Gesamtblattfläche und die Größe der einzelnen Blätter. Hygromorphe Belaubung wird durch eine zunehmend xeromorphe ersetzt. Da jedoch die Lärmschutzwirkung mit steigender Blattgröße und Laubdichte zunimmt, wirkt sich dieser schon bei relativ geringem Wassermangel auftretende Effekt in schalltechnischer Hinsicht sehr negativ aus. Nur durch eine Auswahl von Arten, die die Trockenheit besser ertragen oder besonders tief wurzeln, kann dies ausgeglichen werden.

Viele Baum- und Straucharten reagieren zudem durch vorzeitigen Laubabwurf auf Trockenheit. Hierdurch verkürzt sich die Vegetationsperiode und somit ist der erwünschte langfristige Schallschutz nicht mehr gewährleistet.

Bei stärkerem Wassermangel folgt das Verkahlen einzelner Zweige und Äste, ja sogar ganzer Teile der Krone bis hin zum Absterben der gesamten Pflanze. Damit ist die Lärmschutzwirkung nicht mehr gegeben.

Hat man für den Lärmschutz zu anspruchsvolle Pflanzen ausgewählt, ist man auf kostspielige Bewässerungssysteme angewiesen.

In begrenztem Rahmen besteht jedoch die Möglichkeit, zu pflanzende Gehölze mit besonders gutem artspezifischen Lärminderungsvermögen, die aber eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Wassermangel aufweisen, durch Züchtung auf ein entsprechendes Substrat vorzubereiten.

## 2.3 Lichtverhältnisse

Für eine gesunde und kräftige Lärmschutzpflanzung ist ausreichende Beleuchtung obligatorisch. Durch die Dunstglocke, die unsere Ballungsräume umgibt, verringert sich die Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Wetterlage aber zum Teil erheblich. Die Globalstrahlungsverluste können sich auf 10 bis 20 Prozent gegenüber dem Umland belaufen (Landsberg, 1981).

Dieser allgemeine Lichtverlust wirkt sich natürlich auf die Photosyntheseleistung der Pflanzen aus. Als mögliche Folgen können einerseits Vitalitätsminderungen und somit Einbußen bezüglich Belaubungsdichte, Höhenwachstum und Zuwachsraten erwartet werden. Andererseits besteht jedoch auch eine gewisse Tendenz zur Ausbildung von Schattenblättern, was für den Lärmschutz durchaus positiv sein kann. Ob sich dieser Sachverhalt wie auch die Überlegung, daß diffuses Licht die Vitalität der im Schlag Schatten von Gebäuden wachsenden Pflanzen steigern könnte, messbar bemerkbar macht, muß noch untersucht werden.

Da eine Lärmschutzpflanzung auch in ihrem Innenbereich möglichst dicht sein sollte, empfiehlt sich für zwischen- bzw. unterständige Bestockung die Verwendung von Schatten- und Halbschattengehölzen.

Immergrüne Bäume lassen auch während der Wintermonate nur relativ wenig Strahlung bis zum Boden durchdringen und hemmen somit das Wachstum unterständiger Gehölze. Der Einsatz von Lichtbaumarten in den unteren Stockwerken des Bestandes führt in relativ kurzer Zeit zum Absterben, während schattenertragende Arten im Unterstand relativ gut gedeihen können. Letztere bilden in solcher Lage zwar keine normalen, sondern abgeflachte, schütterere Kronen aus, doch können sie entscheidend zur Ausfüllung des Stammraumes beitragen.

Lichtverluste ergeben sich auch durch benachbarte hohe Mauern und Gebäude. Ebenso kann eine sich in Ost-West-Richtung erstreckende Schutzpflanzung von gewissen Wuchshöhen an ihre auf der Nordseite stockenden Bestandesteile beschatten.

Eine wichtige Vorgabe für die Neuanlage von Schutzpflanzungen ist daher die Beachtung artspezifischer Wuchshöhen und -geschwindigkeiten.

Der Faktor Licht erlangt insbesondere bei der Verwendung von Pioniergehölzen wie z. B. *Acer campestre* (Feldahorn), *Alnus glutinosa* (Schwarzerle), diverse *Betula*-Arten, *Corylus avellana* (gewöhnliche Hasel) und *Salix caprea* (Salweide) große Bedeutung. Diese besitzen einige Vorzüge, die sie u. a. gerade für das Aufbaustadium einer Schutzpflanzung im städtischen Bereich qualifizieren. Sie sind nach Dengler (1980) und Meyer (1978) widerstandsfähig gegenüber starker Windexposition, intensiver Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen, jedoch auch gegenüber Spätfrösten. Häufig nehmen sie mit humusarmen Mineralböden vorlieb und zeigen besonders im Jugendstadium eine starke Wuchskraft, so daß sie schon nach kurzer Zeit für Lärmschutzzwecke geeignet sind.

Ihre Fähigkeit, humusarme Standorte zu ertragen, prädestiniert sie zusätzlich in vielen Fällen für einen Standort in der Nähe von Verkehrswegen, an denen das Fallaub aus Sicherheitsgründen alljährlich entfernt werden muß.

Pioniergehölze gehören allerdings in den meisten Fällen zur Gruppe der Lichtbaumarten. Sie reagieren daher auf starke Beleuchtungsunterschiede in ihrem Kronenbereich, indem sie zum Licht wachsen und somit oft krummschäftig werden oder einseitige Kronen ausbilden. Dies muß jedoch bei einer Plenter-Bewirtschaftung einer Lärmschutzanpflanzung nicht zwangsläufig ein Nachteil sein, da sie hierdurch in der Lage sind, Lücken im Kronendach bzw. in der geschlossenen Front relativ schnell auszufüllen. Auf für sie hinsichtlich der Beleuchtung ungünstigen Standorten laufen diese Arten jedoch Gefahr, schon früh zu verkümmern oder auszufallen.

## 2.4 Wärmehaushalt

Aufgrund des veränderten Wärmehaushaltes sind Pflanzen in der Stadt auch und gerade nachts zum Teil erheblich höheren Temperaturen als im Freiland ausgesetzt. Für viele synanthrope Arten aus südlichen Breiten wirkt sich dieser Effekt positiv aus, da er den ursprünglichen Lebensbedingungen dieser Neophyten entspricht. Bei heimischen Arten ist hingegen bei hohen Temperaturen und großem Wasserdampfsättigungsdefizit eher mit Trockenschäden zu rechnen. Daraus kann für empfindliche Arten eine eingeschränkte Lärmschutztauglichkeit resultieren.

Während der Wintermonate macht sich die Temperaturerhöhung im städtischen Bereich für die urbane Flora jedoch durchweg positiv bemerkbar (Kuttler, 1985); dies geschieht z. B. durch:

- Verkürzung der winterlichen Frostperiode,
- Verminderung der Frostintensität,
- Reduzierung der Frost- und Eistage und
- Abnahme der Scheedeckendauer und -höhe.

Daraus folgt für die städtische Vegetation, daß hier auch weniger winterharte Gehölze verwendet werden können und somit die Artenvielfalt erhöht wird. Für alle Arten vorteilhaft ist die verminderte Gefahr durch Schneebruch.

Durch das insgesamt in Städten höhere Temperaturniveau ergibt sich eine Verlängerung der Vegetationsperiode um mehrere Tage. Dies ermöglicht eine entsprechend längere lärmindernde Wirkung durch Pflanzen.

## 2.5 Auftausalze

Häufig ist zu beobachten, daß das Laub von Bäumen, die in unmittelbarer Nähe zu einer Straße oder einem Gehweg stehen, bereits im Mai oder Juni an den Blatträndern bräunlich gefärbt ist. Die äußere Erscheinung des Krankheitsbildes gleicht einer Dürrekrankheit. Auch eine Analyse der Jahresringe weist auf nur geringe Zuwachsraten hin. Die Ursache für diese Schäden ist der übertriebene Umgang mit Auftausalzen, wodurch Schadensbilder wie

- verzögerter Blattaustrieb im Frühjahr,
- Blattnekrosen,
- Ausbildung kleinerer Blätter,
- vorzeitige Herbstfärbung, Blattzerfall, Laubfall,
- Absterben der treibenden und ruhenden Knospen und
- Trockenheitsschäden von jungen Zweigspitzen bis zum kompletten Ast- oder Kronenteil

zu beobachten sind (Ruge, 1971; Buschbohm, 1972; Meyer, 1978; Leh, 1973).

Ein streusalzgeschädigter Baum wird darüber hinaus – selbst wenn keine weiteren Salzgaben mehr erfolgen – noch über Jahre hinaus diese Schadenssymptome zeigen. Für Schallschutzzwecke ist ein solcher Baum auf lange Sicht nicht mehr verwendbar, er muß geschlagen und ersetzt werden.

Das Ausmaß der durch Salz verursachten Schäden läßt mit zunehmendem Abstand (ab ca. 10 m) von der gestreuten Straße nach, so daß man davon ausgehen kann, daß eine Schallschutzpflanzung außerhalb des salzhaltigen Sprühnebels von Fahrzeugen kaum noch geschwächt werden wird.

Primäre Maßnahme zur Vermeidung von Salzschiiden ist eine Reduzierung des Einsatzes von Auftausalzen auf ein für den Straßenverkehr unbedingt notwendiges Maß. Da es nur sehr wenige für den Lärmschutz geeignete Gehölze gibt, die in ausreichendem Maße salzresistent sind, scheidet eine diesbezügliche Artenwahl für Schallschutzbestände als Maßnahme aus.

## 2.6 Gasförmige Immissionen und Stäube

Gas- und partikelförmige Immissionen nehmen starken Einfluß auf Entwicklung und Zustand des urbanen Grüns. Tab. I gibt einen Überblick über Herkunft und Vorkommen der wichtigsten phytotoxisch wirkenden Immissionen.

Pflanzen reagieren besonders empfindlich auf schwefelhaltige, Schwefel-, Fluß- und Salzsäure (Guderian, 1985; Fellenberg, 1981). Schwefeldioxid dringt in die Blätter ein und bildet mit dem Zellwasser schwefelige Säure. Photosynthese und Atmung, somit also auch Zuwachsrate und Bonität werden nachhaltig beeinträchtigt.

Die Halogenwasserstoffe HCl und HF wirken durch eine Abschwächung der Chlorophyllbildung ebenfalls negativ auf die Photosynthese ein. Außer der verminderten Photosyntheseleistung gehören Nekrosen, Störungen des Gasaustausches, Behinderungen enzymatischer Reaktionen durch erniedrigten pH-Wert sowie eine allgemeine Reduzierung der Stoffwechselfvorgänge zu den Schadensbildern.

Oxidantien wie z. B. Stickoxide aus Verbrennungsprozessen sowie deren unter dem Einfluß von UV-Strahlung entstehenden Folgeprodukte Ozon und Peroxiacetylnitrat (PAN) gehören ebenfalls zu den phytotoxischen Schadgasen (Guderian, 1985). Auch hier ist ein negativer Einfluß auf die Photosynthese festzustellen, ferner eine Schädigung der Zellmembranen sowie Behinderungen des Gasaustausches. Speziell die im Ozon-Smog (Kuttler, 1979) enthaltenen Verbindungen zeichnen sich durch besondere Aggressivität gegenüber Pflanzengewebe und Chlorophyll aus. In der Folge werden Wachstums- und Bonitätsminderungen registriert sowie Veränderungen der Blätter und des Blattaufbaus mit allen bereits beschriebenen Konsequenzen für die Lärmschutztauglichkeit einer Pflanzung.

Oxidativer Smog:	NO <sub>2</sub> , PAN, O <sub>3</sub> (Los Angeles Typ)
Reduktiver Smog:	SO <sub>2</sub> (London Typ)
Säuren:	HF, H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl
Stäube:	vor allem Zementstaub und verblasene Erde
Phytoeffektoren:	Ethylen, verblasene Herbizide und Pflanzenschutzmittel
Allelopathische Effektoren (z.B. Terpene)	

Tab. I: Einteilung der pflanzentoxischen Luftverschmutzungskomponenten nach ihrer Herkunft (aus: Hock u. Elstner, 1984)

Besonders anfällig in bezug auf Schadgase sind Koniferen, da sie über eine lange Lebensdauer der Benadelung von ca. fünf bis sechs Jahren verfügen und somit geschädigte Blätter nicht schnell genug ersetzen können. Demgegenüber weisen Laubbäume durch den jährlichen Blattabwurf eine gewisse Regenerierfähigkeit auf und sind daher in der Lage, auch unter erschwerten Bedingungen volle Funktion als Lärminderer zu leisten.

Als weitere phytotoxisch wirksame Luftbestandteile sollen noch die partikel-förmigen Luftschadstoffe genannt werden, die aus Straßenstaub, Ruß, Schwermetallstäuben sowie calciumhaltigen Zementpartikeln bestehen. Aufgrund ihres amphistomatischen Nadelaufbaus reagieren Koniferen hierauf wiederum besonders empfindlich, da sich die Staubpartikel auf ihrer Nadeloberseite ablagern und durch Verstopfung der Stomata den Gasaustausch und die Transpiration behindern können. Hypostomatische Laubbäume sind in dieser Hinsicht für den Lärmschutz auf Dauer vorteilhafter.

Durch den Gasaustausch zwischen Luft und Boden sowie im Zuge des Eindringens von verschmutztem sauren Regenwasser in das Erdreich kommt es zu Schädigungen im Wurzelbereich der Bäume (Kuttler, 1986). Ist das Substrat nicht durch Bauschutt o. ä. bereits mit Calcium angereichert, können Kalkgaben die Aggressivität dieser Schadstoffe zwar mindern, es empfiehlt sich bei besonders stark belasteten Standorten jedoch in jedem Falle die Verwendung unempfindlicher Arten.

### 3. Phänotypische Voraussetzungen

In diesem Kapitel soll auf die phänotypischen Eigenschaften von Bäumen und Sträuchern eingegangen werden, die für den Einsatz in einem Schallschutzbestand geeignet sind. Es sind dies zum einen Faktoren, die den strukturellen Charakter des Baumes selbst kennzeichnen wie etwa Wuchshöhe, Wuchsgeschwindigkeit, Kronenform und Kronendichte. Zum anderen sollen die belaubungsspezifischen Aspekte wie Blattstellung, Blattgröße, Belaubungsdichte, Länge der Vegetationsperiode, Vorhandensein immergrüner Belaubung sowie spezielle, für den Lärmschutz wesentliche Eigenschaften von Blättern erörtert werden.

### 3.1 Wuchshöhe und Wuchsgeschwindigkeit

Um eine zu jeder Zeit möglichst gleichmäßige Höhe des Bestandes zu gewährleisten, ist es sinnvoll, schon im Planungsstadium die zu verwendenden Arten bezüglich ihrer Wuchsgeschwindigkeit aufeinander abzustimmen. Einflußgrößen sind hierbei neben dem artspezifischen Wuchsverhalten die bereits erwähnten ökologischen Faktoren, der Standort innerhalb einer Pflanzung und die Bemessung des Stammraumes. Mittels gärtnerischer Eingriffe, z. B. der Beschneidung von Primär- und/oder Sekundärtrieben, kann auf die Geschwindigkeit des Höhenwachstums eingewirkt werden.

Die zu erreichende Wuchshöhe wird einerseits von der Art, andererseits von den Standortbedingungen bestimmt. Um einen vom Boden bis zur Bestandsobergrenze geschlossenen Laubschirm zu erhalten, sollten die höchsten Bäume einer Lärmschutzpflanzung in ihrer Mitte bzw. an ihrer der Straße abgewandten Seite stehen, die niedrigsten am äußeren Rand der Vorpflanzung. So qualifizieren sich für die Vorpflanzung unter anderem Cornus (Hartriegel), Liguster, Ribes (Johannisbeere), Rubus (Brombeere, Himbeere) und Rhododendron sowie andere, niedrig wachsende Arten. Besteht zwischen Straße und Pflanzung ein Freiraum, empfiehlt sich dafür eine möglichst dichte Bestockung mit Kriechgehölzen (z. B. Cotoneaster) oder Stauden, um eine zusätzliche Schalldämpfung zu erreichen.

### 3.2 Blattgröße

Der Einfluß der Blattgröße auf das Schalldämpfungsvermögen einer Pflanzung ist zum einen quantitativ auf die Gesamtpegelminderung, andererseits qualitativ auf die frequenzspezifische Dämpfung bestimmter Wellenlängen bezogen.

Die Lärmabsorption durch Laub ist allgemein bei hohen Frequenzen, vorzugsweise um 8 kHz, am größten. Mit zunehmender Blattgröße weitet sich der Schallminderungseffekt auch auf niedrigere Frequenzen bis hinab zu 500 Hz aus. Der gesamte Lärminderungseffekt nimmt bis zu einer Blattgröße von etwa 40 cm<sup>2</sup> zu (Mitscherlich, 1970). Für noch größere Blätter können keine allgemein gültigen Aussagen in bezug auf den Lärminderungsgrad gemacht werden.

Als besonders günstig sind ganzrandige, wenig gebuchtete Blätter mit großer Blattbreite und -stärke anzusehen (Baumhasel, Kastanie, Linde, Ulme, diverse Eichenarten, jedoch auch Platane und Ahornarten). Schmale oder nadelartige Blätter weisen nur eine geringere Wirksamkeit auf (Weidenarten, Robinie, Eberesche, Esche). Der Licht- oder Schattenhabitus von Blättern bedingt ebenfalls Unterschiede: Lichtblätter sind kleiner und verfügen über eine derbere Epidermis und Cuticula, während Schattenblätter zarter sind, dafür jedoch häufig größere Blattspalten besitzen. Hieraus lassen sich jedoch keine eindeutigen Hinweise für die Artenwahl ableiten.

Da die Schallpegelminderung durch eine Pflanzung zum Teil auch auf Reflexionen am Laub beruht, können Blätter mit harter, glänzender Oberseite positive Effekte bewirken, indem sie den Schall teilweise in Richtung auf den Emittenten zurückwerfen.

### 3.3 Blattstellung

Eine zur Schallausbreitungsrichtung senkrechte Blattstellung bewirkt die besten Lärminderungswerte: "Standen die Blätter senkrecht zur Schallrichtung, betrug die Schallminderung 7 bis 8 dB, schon bei einer Drehung um 45° auf 1 bis 2 dB. Bei 90°, also in Schalleinfallrichtung, lag die Dämpfung unter 1 dB." (Mitscherlich, 1970, S. 122).

Infolge vornehmlich phototropischer Reize unterliegt der Blattstellwinkel jahreszeitlichen und sonnenstandsbedingten Schwankungen. Weitere Einflußfaktoren für den Anstellwinkel: Exposition, Einstrahlungsverhältnisse, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Licht- oder Schattenhabitus des Blattes. Auch das Alter des Baumes sowie die Position des Blattes im vertikalen Aufbau des Bestandes sind von Bedeutung. So kann sich, wie Abb. 1 zeigt, ein schuppenförmiger Laubschirm im Tagesverlauf in einen lamellenförmigen umwandeln und auf diese Weise die Wirksamkeit der Lärmschutzpflanzung herabsetzen.

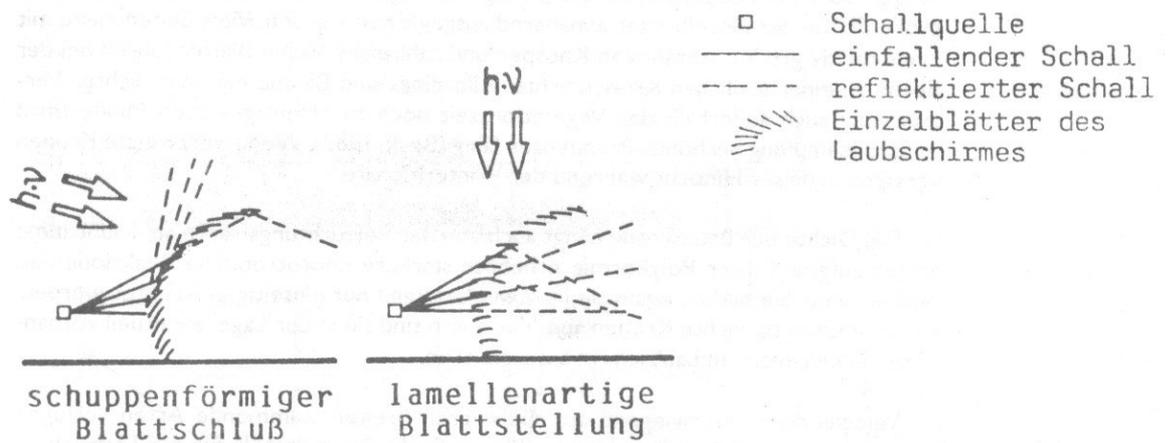


Abb. 1: Einfluß der Blattstellungsänderung gegenüber einfallendem Schall in Abhängigkeit von der Beleuchtungsrichtung

Welche Arten sich bezüglich der im Tagesverlauf phototropisch bedingten Blattstellungsänderungen am besten für den Lärmschutz eignen, wird derzeit am Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Universität-GH-Essen untersucht.

### 3.4 Dichte und Form von Krone und Belaubung

Entsprechend der Forderung nach möglichst dichten Kronen stellt sich an dieser Stelle die Frage nach der Belaubungsdichte. Tab. 2 gibt einen Überblick vom Bedeckungsgrad, d. h. von der angegebenen Blattbedeckung eines Prüfrahmens in Prozentanteilen.

Bedeckungs- dichte	0	20	40	60	80	100	120	160	200%	d. Fläche
Schallminderung	0	2,1	3,0	3,4	4,8	7,2	8,1	9,0	9,3	dB.

Tab 2: Schallminderung in Abhängigkeit von der Dichte der Bedeckung eines Prüfrahmens mit Blättern in Prozent (aus: Mitscherlich, 1970)

Hiernach nimmt die Pegelminderung bis zur vollen Bedeckung, also 100 %, stark zu. Von da bis zu der bei geschlossenen Laubschirmen nicht selten gegebenen doppelten Bedeckung steigt sie dagegen nur noch wenig an.

Die größte Laubmasse ist dort zu erwarten, wo die Beleuchtungsverhältnisse am günstigsten sind und eine ausreichende Anzahl von Zweigen höherer Ordnung ausgebildet ist. Solitär oder an Bestandsrändern aufgewachsene Bäume besitzen in der Regel einen dichteren, tiefer herabreichenden Laubmantel. Der Innenraum des Bestandes ist hingegen zumeist nur relativ schwach belaubt.

Die Blattdichte der Krone hängt in erster Linie von der artspezifischen Verzweigungsform ab (Mitscherlich, 1970). Neben den bereits beschriebenen Faktoren Form, Struktur, Größe und Anordnung der Blätter ist hierfür die Zahl der Kurz- und Langtriebe höherer Ordnung wichtig.

Die einzelnen Faktoren sind im Hinblick auf die Lärmschutzwirkung voneinander abhängig. So kann beispielsweise die geringe Zweigdichte der Roßkastanie durch die große Fläche der Einzelblätter annähernd ausgeglichen werden. Viele Seitentriebe mit einer relativ großen Anzahl von Knospen und zahlreiche kleine Blätter führen bei der Buche zu einer ähnlichen Kronendichte. Allerdings sind Bäume mit sehr dichter Verzweigung auch außerhalb der Vegetationszeit noch zu einem gewissen Mindestmaß an Schalldämpfung bei hohen Frequenzen fähig (Beck, 1982). Wenig verzweigte Kronen versagen in dieser Hinsicht während der Wintermonate.

Die Dichte der Baumkrone hängt auch von der Beleuchtungsstärke ab. Laubbäume zeigen aufgrund ihrer Polykormie erheblich stärkere phototropische Reaktionen als Nadelbäume. Sie bilden, wenn sie im Zwischenstand nur einseitig beleuchtet werden, auch nur einseitig dichte Kronen aus. Hierdurch sind sie in der Lage, eventuell vorhandene Lücken in einem Laubschirm auszugleichen.

Verschiedene, überwiegend aus südlicheren Breiten stammende Arten verfügen über eine genetisch fixierte schütterere Krone. Sie besitzen deshalb für den Lärmschutz nur geringen Wert, auch wenn sie an die klimatischen Verhältnisse in der Stadt besser angepaßt sind.

Schallschutztechnisch mit der Kronendichte eng verknüpft ist die Kronenform. Für die Zwecke des Lärmschutzes sind kugel- und kegelförmige Kronen am besten geeignet. Bei letzteren scheidet allerdings sehr schlanke oder säulenartige Formen aus (*Populus nigra italica*, einige *Juniperus*- und *Taxus*-Arten).

Schirmförmige Kronen bergen die Gefahr der Schallreflexion unter ihrem meist ausladenden Kronendach, wie sie auch in domartigen Hallenbeständen zu beobachten ist. Bäume mit kleinen Kronen können für Schutzpflanzungen durchaus vorteilhaft sein, sofern sie ein hohes artspezifisches Lärminderungsvermögen besitzen, da sie zur Heterogenität des Bestandes beitragen und gut in die Vorpflanzung integriert werden können.

In der Regel ist eine deutliche Veränderung der Kronenform mit zunehmendem Alter festzustellen. In der Jugend überwiegt das Wachstum des Leittriebs, wodurch mehr oder weniger spitzkegelige Kronen entstehen. Bei Nadelbäumen treten diese Jugendkronen aufgrund ihrer Monokormie besonders deutlich hervor. Laubbäume zeigen dagegen schon vor Erreichen des Dickungsalters die Tendenz zur Auflösung in mehrere Haupttriebe mit allerdings meist steilen Astanstellwinkeln. Die erforderliche Aufzuchtdauer bis zum Erreichen einer schalltechnischen Wirkung ist also bei Laubbäumen geringer. Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für das Erscheinungsbild der Baumkrone ist auch die Herkunft des für die Aufzucht der Pflanzen verwendeten Saatgutes. Die wünschenswerte Tendenz zu großen weitausladenden, dicht und üppig belaubten Kronen findet sich nach Mitscherlich (1970) vornehmlich bei Arten, deren Habitus durch gemäßigttes Klima, geringen Schneedruck und tiefgründige Böden geprägt worden ist.

### 3.5 Abhängigkeit von der Vegetationszeit

Bei den meisten Laubbaumarten ist die lärm-dämmende Wirkung im wesentlichen auf die Vegetationszeit von Mai bis Oktober beschränkt. Bevorzugt sollten daher Bäume und Sträucher zum Einsatz kommen, die sehr früh austreiben und ihr Laub möglichst spät verlieren.

Schalltechnisch noch besser sind Trockenlaub tragende Arten wie *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus* oder *Quercus robur*. Einschränkend ist allerdings festzuhalten, daß die schalltechnische Wirksamkeit dieser Arten stark vom Standort abhängt. Im Januar und Februar 1985 trugen Pflanzungen aus *Fagus sylvatica* und *Quercus robur* nur noch in sehr windgeschützten Lagen Trockenlaub (Theobald, 1985).

Abb. 2 zeigt, daß die besten winterlichen Pegelminderungen von den immergrünen Gehölzen *Viburnum rhytidophyllum* und *Rhododendron* erreicht werden. Immergrüne Gehölze haben jedoch, wie beschrieben, den Nachteil, daß sie gegenüber Umwelteinflüssen sehr empfindlich sind.

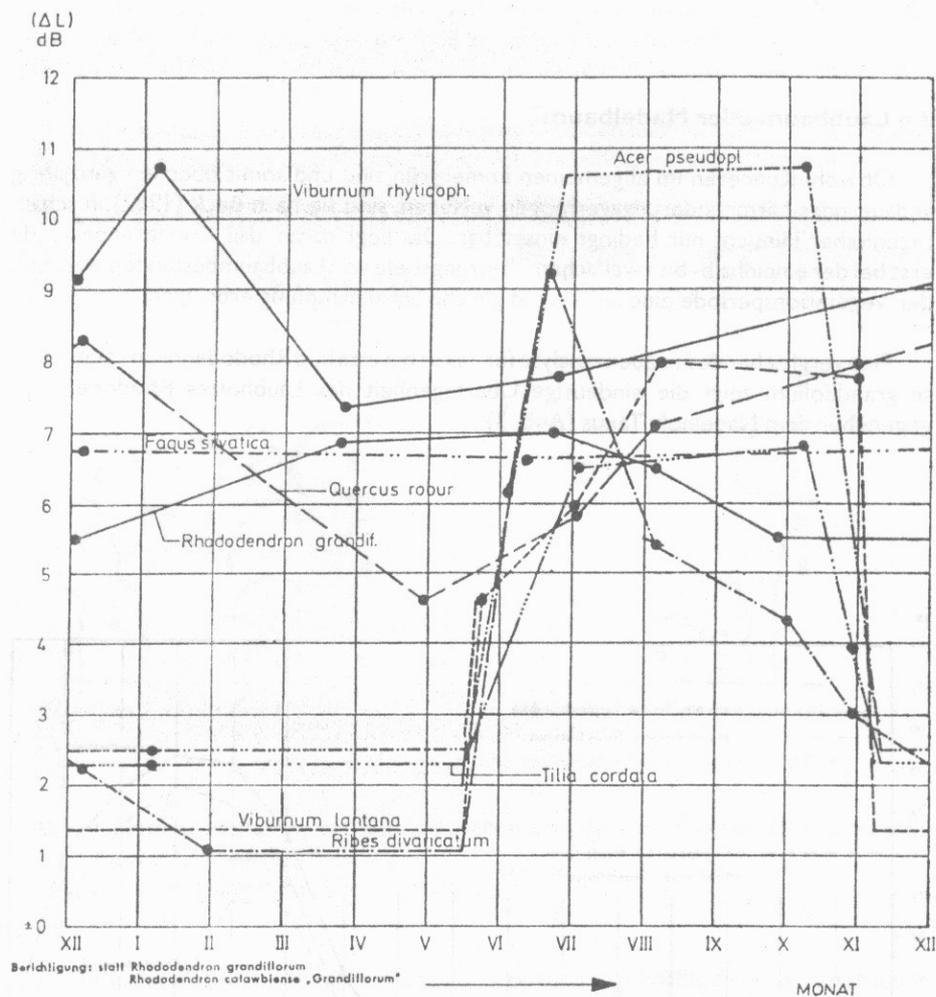


Abb. 2: Lärmindernder Wert von Baum- und Straucharten in Abhängigkeit von der Jahreszeit (aus: Beck, 1982, verändert)

Besonders große Differenzen zwischen Sommer und Winter ergeben sich Abb. 2 zufolge bei *Ribes divaricatum* (Johannisbeere), *Viburnum lantana* (Wolliger Schneeball), *Tilia cordata* (Winterlinde) und *Acer pseudo platanus* (Bergahorn). Dabei weist letzterer aufgrund von Astaufbau und Belaubung von den laubwerfenden Arten während fast aller Monate des Jahres die beste lärmindernde Wirkung auf.



Eine zusammenfassende Diskussion von Vor- und Nachteilen der laubwerfenden und der immergrünen Arten aus der Sicht des Schallschutzes folgt im anschließenden Kapitel.

### 3.6 Laubbaum oder Nadelbaum?

Obwohl Koniferen im allgemeinen immergrün sind und somit über ein ganzjährig andauerndes Lärminderungsvermögen verfügen, sind sie nach Beck (1982) in schalltechnischer Hinsicht nur bedingt einsetzbar. Das liegt daran, daß Koniferenbestände erst bei der eineinhalb- bis zweifachen Pflanzungstiefe von Laubbaumbeständen während der Vegetationsperiode eine annähernd gleiche Schalldämpfung erbringen.

Eine vergleichende Frequenzanalyse für *Taxus baccata* und *Rhododendron catawbiense grandifolium* zeigt die eindeutige Überlegenheit des Laubholzes *Rhododendron* gegenüber dem Nadelholz *Taxus* (Abb. 3).

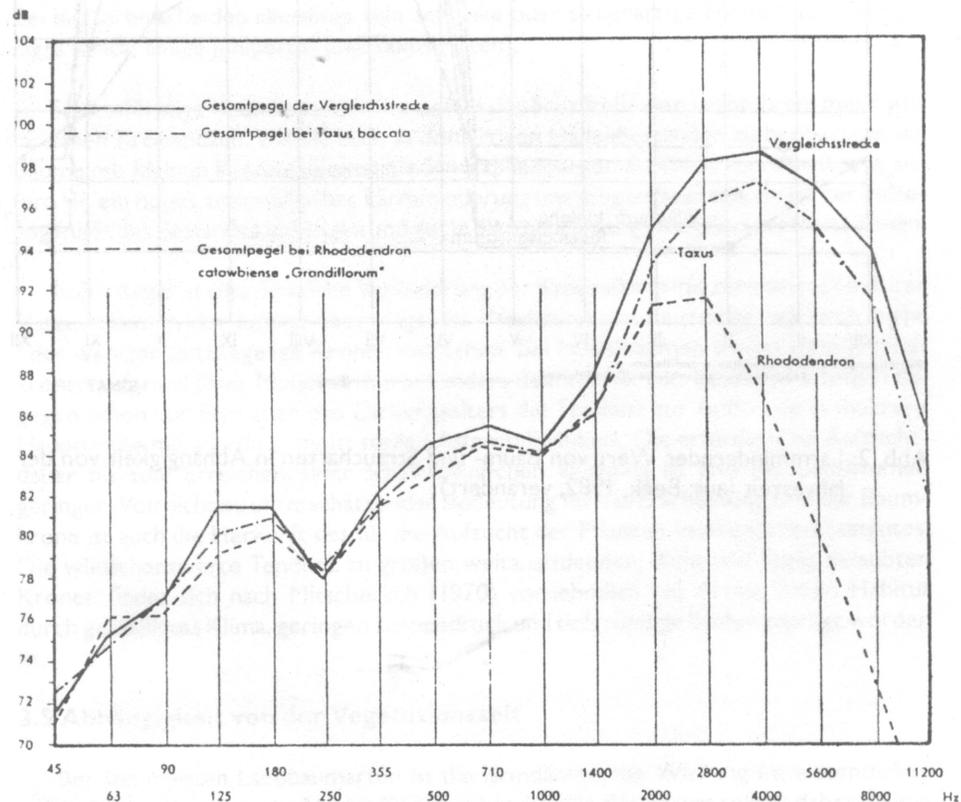


Abb. 3: Frequenzbezogene Analyse zur artspezifischen Schallpegelminderung bei *Taxus baccata* und *Rhododendron catawbiense* "Grandiflorum" (aus: Beck, 1982, verändert)

Unterhalb von 2 kHz zeigen die Dämpfungskurven beider Arten einen ähnlichen Verlauf. Auch das absolute Lärminderungsvermögen ist hier mit 1 bis 2 dB relativ gering. Ab Frequenzen von mehr als 2 kHz wird der Schall durch Laubholz in erster Linie

wegen des relativ geschlossenen Schirmes und der Größe seiner Blätter sehr wirkungsvoll reduziert. Hier werden bis zu 10 dB erreicht. Auch das Nadelholz weist oberhalb von 2 kHz seine höchsten Minderungs-werte auf, die jedoch lediglich 1 bis 2 dB betragen.

Nicht zuletzt aus den soeben geschilderten Gründen kann bei der Einrichtung einer Schallschutzpflanzung auf die Einbeziehung von Nadelhölzern verzichtet werden.

Auch ein Einstreuen einzelner Nadelholzindividuen sollte vermieden werden, da einzelne lärmtechnisch schwache Elemente die Wirksamkeit der gesamten Pflanzung nachhaltig beeinträchtigen, was Abb. 4 zeigt.

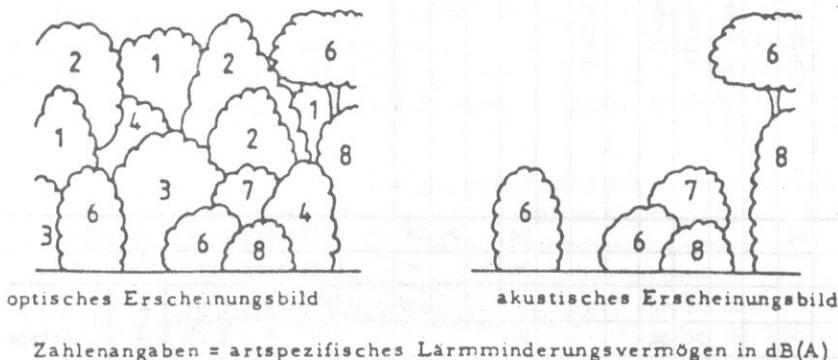


Abb. 4: Unterschied zwischen dem optischen und dem akustischen Erscheinungsbild einer Lärmschutzpflanzung

Die in der Abb. 4 dargestellte Pflanzung ist optisch regelmäßig dicht, akustisch jedoch sehr lückenhaft. Die im rechten Teil nicht mehr eingezeichneten Gehölze besitzen ein artspezifisches Lärm-minderungsvermögen von weniger als 6 dB. Sie sind daher in akustischer Hinsicht nur unzureichend wirksam und werden deshalb zur Verdeutlichung in der Abbildung ausgespart.

#### 4. Anlage und Erhaltung von Lärmschutzbeständen

Für eine Neupflanzung von Straßenbegleitgrün empfiehlt die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1984) unter Berücksichtigung der jeweiligen räumlichen Gegebenheiten folgende Zusammenstellung: 65 % Sträucher, 33 % Heister, 2 % Hochstämme. Dabei sollten die Hochstämme in Pflanzengrößen verwendet werden, die die Sträucher nicht unterdrücken. Letztere pflanzt man möglichst nahe dem Verkehrsweg, gefolgt von Heister und Hochstämmen. Innerhalb weniger Jahre kann eine so erstellte Pflanzung schallmindernd wirksam werden.

Stehen z. B. für randstädtische Gebiete größere Zeiträume von bis zu 10 Jahren zur Verfügung, so ist es aus Kostengründen häufig ratsam, eine Kultur anzulegen, die sich dann erst im Laufe der Zeit zu einem Lärmschutzbestand entwickelt.

Die Zupflanzung von Sträuchern und Heister sollte hier teilweise zeitversetzt erfolgen, um einen späteren gleichmäßigen Schutzschirm zu erhalten. Gleichzeitig können die Bäume so halbsolitär aufwachsen, um tief herabreichende Kronen hervorzubringen. So wird von vornherein und auf Dauer ein gleichmäßig ausgebildeter Schutzschirm erreicht. Stehen bei städtischen Grünanlagen größere Flächen für Lärmschutzzwecke zur Verfügung, kann ein tieferer Bestand angelegt werden. Er sollte aus mehreren, 6 bis 15 m tiefen und hintereinander gestaffelten Pflanzriegeln aufgebaut sein. Damit wird bei gleicher Tiefe der Gesamtanlage eine gesteigerte Schutzwirkung erzielt. Durch die Abstände zwischen den einzelnen Streifen kann sich nämlich eine bis zum Boden reichende, geschlossene Belaubung ausbilden (Wöbse, 1978).



Nach einem Zeitraum von ca. 5 bis 10 Jahren wird es notwendig, den Bestand unter dem Gesichtspunkt des Lärmschutzes zu durchforsten. Ebenso ist es möglich, eine bereits bestehende Pflanzung mittels entsprechender Maßnahmen in einen Schallschutzbestand umzuwandeln.

Wesentliche Durchforstungs- und Verjüngungsmaßnahmen sind der auf eine möglichst geschlossene Belaubung abzielende Schnitt der Gehölze und die Zupflanzung von Schatten ertragenden Arten in den Unterstand. Daneben ist die Herausnahme stark herrschender, also den Bestand entsprechend beschattender Bäume wichtig.

Insgesamt gesehen stellt das Erreichen eines mindestens zweischichtigen Bestandes mit starker Staffelung der Höhen und relativ tief angesetztem Kronenraum das wesentliche Ziel all dieser pflegerischen Maßnahmen dar.

## 5. Schluß

Biologische Lärmschutzeinrichtungen können gerade in Anbetracht der in Städten z. T. sehr beengten räumlichen Verhältnisse nur dann zu einer spürbaren Verbesserung der Lebensqualität des Menschen beitragen, wenn sie bezüglich ihres Wachstums, ihrer Vitalität und ihres artgerechten Lebensraumes möglichst keinerlei Einschränkungen unterworfen sind.

Das Ökosystem Stadt weist gegenüber dem Umland jedoch eine Fülle von Besonderheiten auf, welche die Lebensbedingungen des urbanen Grüns prägen. Veränderte und teilweise eingeschränkte Nährstoffversorgung, verminderte Durchwurzelbarkeit und reduzierter Gasaustausch der verdichteten Böden sowie ein behinderter Wassernachschub sind die gravierendsten substrattypischen Faktoren, die das lärmschutzgerechte Gedeihen der Bäume einschränken können. Hinzu treten Einbußen der Photosyntheseleistung durch die Wirkung von aggressiven Stäuben, phytotoxischen Gasen und eingeschränkter Beleuchtung.

Die Bilanz der Vor- und Nachteile des Lebensraumes Stadt kann zudem durch positive Effekte wie Verlängerung der Vegetationsperiode und erhöhte Wintertemperaturen nur geringfügig ausgeglichen werden.

Nur bestimmte, dem urbanen Ökosystem genetisch gut angepaßte Bäume werden in der Lage sein, phänotypisch den Anforderungen des Lärmschutzes zu genügen.

Die Ansprüche des Schallschutzes betreffen einerseits den strukturellen Charakter des Einzelbaumes und seiner Belaubung, andererseits den Aufbau der gesamten Pflanzung.

Um eine ausreichend hohe Lärminderungswirkung zu erzielen, ist es notwendig, dem Schall möglichst große Massen entgegenzustellen. Dichte, fächerförmig übereinandergreifende Laubschirme aus großen Blättern und ein mit Laub, Geäst und Reisig gut erfüllter Stammraum sowie eine entsprechende Wuchshöhe sowohl des Einzelbaumes als auch des gesamten Bestandes bilden die Voraussetzung für einen hohen Absorptionsgrad.

Tab. 3 gibt einen Überblick über die für den Lärmschutz wichtigen Eigenschaften von in Städten relativ häufig verwendeten Gehölzen.

Unter Berücksichtigung der in den Städten oft stark eingeschränkten räumlichen Verhältnisse ist dem Bestandsaufbau besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Abb. 5 zeigt die Abhängigkeit der Lärmschutzwirkung der unterschiedlichen Bestände von deren Struktur.

Die höchsten Minderungswerte sind demnach von einer gestaffelten Pflanzung zu erwarten. Das gilt insbesondere dann, wenn sie beiderseits der Pflanzungsriegel mit geschlossenen Laubschirmen ausgestattet ist und die Innenräume der einzelnen Bestandsstreifen gut mit den Blättern unterständiger Gehölze erfüllt sind.

Die Dichte dieses Unterstandes läßt sich, ebenso wie die Höhe des Bestandes, mit Hilfe von Durchforstungsmaßnahmen regulieren, wobei Prinzipien der Nieder- und Plenterwaldbewirtschaftung berücksichtigt werden können.

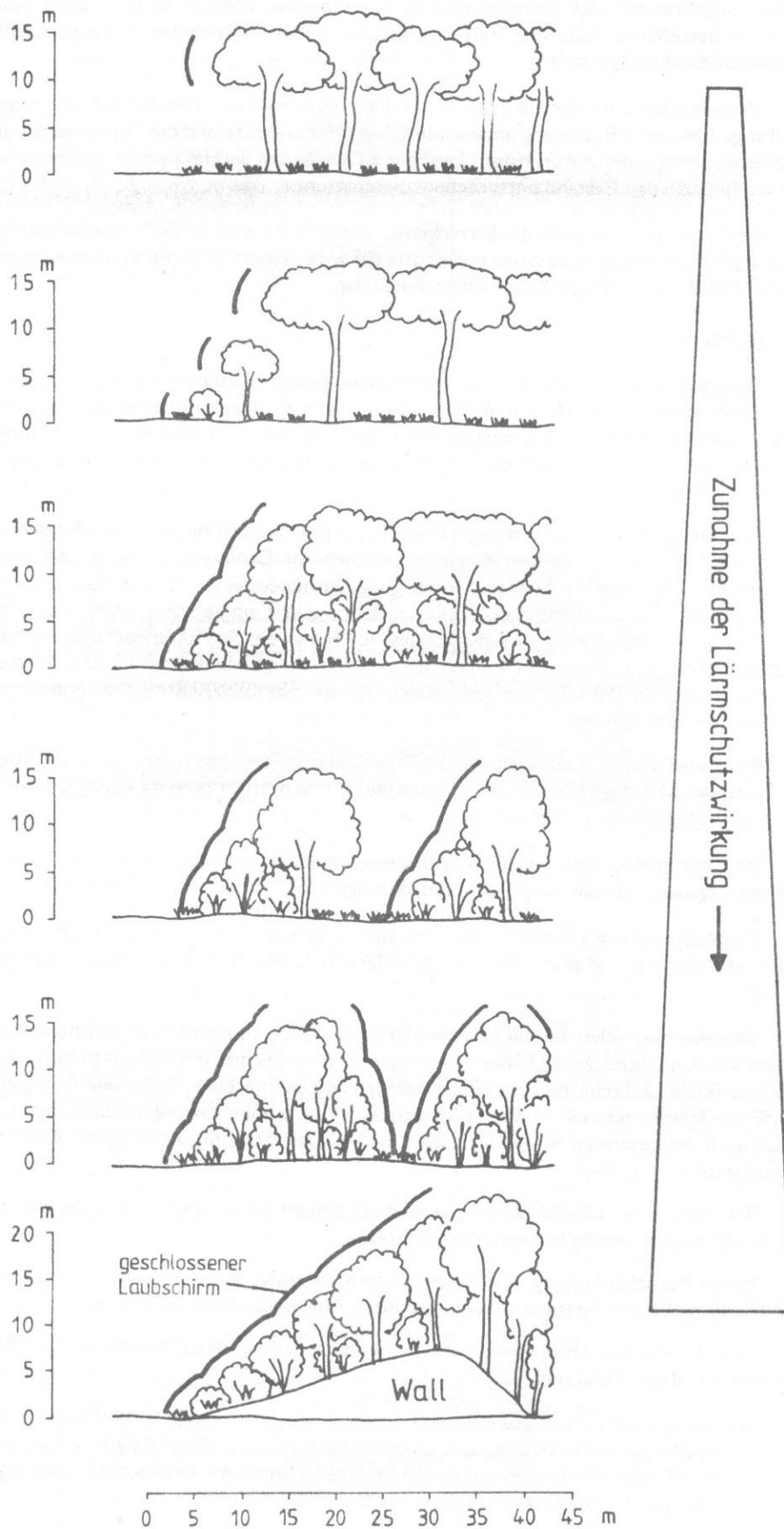


Abb. 5: Abhängigkeit der Lärmschutzwirkung vom Bestandsaufbau (nach: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1984, durch eigene Untersuchungen ergänzt)

# Literatur

- Beck, G.:  
Pflanzen als Mittel zur Lärmbekämpfung. Berlin, Hannover 1982
- Bründl, W.; Mayer, H.; Baumgartner A.:  
Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayrischen Großstädten. Forschungsvorhaben Nr. 8272-VI/4b-7106 im Auftrag des Bayrischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen. München 1986
- Buschbohm U.:  
Salzschäden an Straßengehölzen. In: Städtehygiene 23, 1972, S. 48-51
- Dengler, A.:  
Waldbau. Bd. 1 und 2. Hamburg, Berlin 1980
- Fellenberg, G.:  
Pflanzenwachstum. Stuttgart. New York 1981
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:  
Merkblatt für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Straßen. Entwurf. Köln 1984
- Guderian, R.:  
Air Pollution by Photochemical Oxidants. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1985
- Hock, B.; Elstner, E. F.:  
Pflanzentoxikologie. Mannheim, Wien, Zürich 1984
- Kuttler, W.:  
Einflußgrößen gesundheitsgefährdender Wetterlagen und deren bioklimatische Auswirkungen auf potentielle Erholungsgebiete. = Bochumer Geogr. Arbeiten, Heft 36, Bochum 1979
- Kuttler, W.:  
Stadtklima. In: Geographische Rundschau 37, H. 5, 1985, S. 226-233
- Kuttler, W.:  
Raum-zeitliche Analyse atmosphärischer Spurenstoffeinträge in Mitteleuropa. = Bochumer Geogr. Arbeiten, Heft 47, Bochum 1986
- Landsberg, H. E.:  
The Urban Climate. = Internat. Geophys. Ser., Vol. 28. New York 1981
- Leh, H. O.:  
Untersuchungen über die Auswirkungen der Anwendung von Natriumchlorid als Auftaumittel auf die Straßenbäume in Berlin. In: Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 25, H. 11, 1973, S. 163-170
- Mader, H.-J.:  
Die Isolationswirkung von Verkehrsstraßen auf Tierpopulationen, untersucht am Beispiel von Arthropoden und Kleinsäugetern der Waldbiozönose. = Landschaftspfl. Naturschutz, H. 19, 1979
- Meyer, F. H.:  
Bäume in der Stadt. Stuttgart 1978

Mitscherlich, G.:

Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 1-4, Frankfurt a. M. 1970

Ruge, U.:

Erkennen und Verhindern von Auftausalzschäden an Straßenbäumen der Großstädte. In: Nachrichtenblatt d. Dt. Pflanzenschutzdienstes 23, 1971, S. 133-137

Schreiber, L.:

Lärmschutz im Städtebau. Schalltechnische Grundlagen – Städtebauliche Schutzmaßnahmen. Wiesbaden 1971

Schulte, W.:

Florenanalyse und Raumbewertung im Bochumer Stadtbereich. = Materialien zur Raumordnung aus dem Geogr. Institut der Ruhr-Universität Bochum, Forschungsabt. für Raumordnung, Bd. XXX, Bochum 1985

Theobald, J.:

Lärmschutz durch Bepflanzung im städtischen Bereich. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Geogr. Institut der Ruhr-Universität Bochum, Bochum 1985

VDI 2714E:

Schallausbreitung im Freien. Entwurf 1976

Wöbse, H. H.:

Ökologie und Landschaftsplanung. Graz 1978