

***Dr. Jürg Holenstein***

***Beratung für Umwelt und Boden***

CH-9000 St. Gallen, Geltenwilenstrasse 16

Telefon 071 223 82 28 / Fax 071 223 82 28

**Die Belastung mit PAK und Blei an Strassen im Kanton Zürich;  
Zusammenfassender Fachbericht**

**Kanton Zürich**

**Fachstelle Bodenschutz**

**Februar 2000**



## 1. Anlass und Zielsetzung

Der moderne Strassenverkehr belastet die Umwelt mit vielen unterschiedlichen Emissionen. Neben den Schwermetallbelastungen in strassennahen Böden wurden vermehrt auch Belastungen durch organische Schadstoffe festgestellt. Davon stellen die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (im folgenden PAK) eine ökotoxikologisch bedeutende Schadstoffgruppe dar. Die Brisanz dieser Stoffklasse liegt in den teilweise stark krebserzeugenden und genverändernden Eigenschaften der PAK sowie in ihrer schlechten Abbaubarkeit. Diese Tatsachen werden in der revidierten Verordnung über die Belastungen des Bodens (VBBö, SR 814.12) berücksichtigt. Darin wurden neu Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für PAK festgelegt.

An der Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich wurde von Frau A. Jablonkay eine Diplomarbeit zum Thema Bodenbelastung durch PAK an Strassen verfasst (Jablonkay 1998). Die in dieser Diplomarbeit erhobenen Daten sowie die Daten ergänzender und früheren Probenahmen durch die Fachstelle Bodenschutz (Holenstein 1995) werden statistisch ausgewertet. Insbesondere wird die Abhängigkeit der PAK-Gehalte von den Strassenfaktoren abgeklärt. Beurteilt wird die PAK-Belastung aufgrund der Summe der 16 Einzelsubstanzen, die durch die EPA definiert wurden (EPA 1982). Die Schadstoffverteilung der PAK wird mit derjenigen von Blei als Vertreter der Schwermetalle verglichen. Auf den statistischen Erhebungen aufbauend soll eine Schätzung der Belastung an unbeprobten Strassen aufgrund der Strassenfaktoren ermöglicht werden. Für weitergehende Massnahmen bei Überschreitung von Richt-, Prüf- oder Sanierungswerten wird eine Verdachtsklassierung vorgeschlagen.

## 2. Methoden

Die Methodik zur Standortwahl, Probenahme und Analytik wird in Jablonkay 1998 und Holenstein 1994 ausführlich beschrieben. Der in dieser Arbeit verwendete Datensatz ist in Anhang 1 und 2 wiedergegeben. Die Werte jeder Probe wurden einzeln gewertet ohne vorherige Mittelwertbildung für die Transsekte einer Strasse.

### 2.1. Standortwahl

Als Grundlage für die Auswahl der Strassen, an welchen der PAK-Gehalt im Boden untersucht wurde, dienten Strassendaten aus dem Lärmkataster der Fachstelle für Lärmschutz des Kantons Zürich (FALS 1989-93). Die Standorte für die Probenahme wurden mit dem Ziel gewählt, die Abhängigkeit der Belastung von den Faktoren Verkehrsfrequenz und Steigung zu untersuchen (Tabelle 1). Als Mass für die Verkehrsfrequenz diente der durchschnittliche tägliche Verkehr auf 24 Stunden bezogen (im folgenden DTV-24h).

**Tabelle 1: Anzahl und Verteilung der untersuchten Strassen (in Klammern: Transsekte)**

PAK			Blei	
DTV-24h *)	Steigung < 3%	Steigung > 3%	DTV-24h *)	alle Strassen
0-2'000	4 (8)	4 (8)	0-2'000	2(4)
2'000-5'000	2 (4)	2 (4)	2'000-10'000	2(5)
5'000-10'000	4 (9)	3 (6)	10'000-15'000	5(12)
10'000-15'000	3 (8)	4 (12)	15'000-25'000	3(8)
15'000-20'000	3 (7)	3 (5)	25'000-70'000	2(6)
20'000-23'000	2 (5)	0		
<b>Total</b>	<b>18 (41)</b>	<b>16 (35)</b>	<b>Total</b>	<b>14 (35)</b>

\*) Anzahl Fahrzeuge je 24 Stunden

## **2.2. Probenahme**

Die Probenahme erfolgte an den Standorten standardisiert entlang Transsekten beidseits der Strasse in normierten Distanzen. Die Distanzmessung erfolgte nicht orthogonal sondern parallel zur Geländeoberfläche ab Fahrbahnrand vor allenfalls vorhandenem Trottoir, Radstreifen oder Pannestreifen. Die Beprobung erfolgte in den angegebenen Distanzen entlang jeweils parallel zur Strasse verlaufenden Linien von 22.5 Meter Länge in sechzehn Einstichen. Insgesamt wurden 227 Proben für die Bleibestimmung und 595 Proben für die PAK-Bestimmung entnommen.

Die Proben für die Blei-Bestimmung wurden von Hand mit einem Stahlhohlmeissel von 3 bis 4 cm Durchmesser 0 - 20 cm tief ausgestochen und zu einer Mischprobe vereinigt.

Die Proben für die PAK-Bestimmung wurden von Hand mit einem ungefetteten Stahlhohlmeissel von 2.5 cm Durchmesser 0-10 cm tief ausgestochen und ebenfalls zu einer Mischprobe vereinigt. Die Entnahmetiefe von 0 - 10 cm wurde beibehalten, obwohl sie von der VBBo abweicht, um die früheren, vor dem Erlass der Verordnung gewonnenen Daten in die Auswertung einbeziehen zu können. Aufgrund der guten Adsorption der PAK im Oberboden und der in Ackerböden ohnehin erfolgenden Durchmischung können unseres Erachtens die Ergebnisse gleichwohl mit den Richt-, Prüf- und Sanierungswerten der VBBo beurteilt werden.

## **2.3. Analytik**

Die Analysen wurden von SULZER INNOTECH AG in Winterthur durchgeführt. Die Totalgehalte von Blei wurden im Salpetersäureaufschluss bestimmt (FAC 1989). Die Bestimmung der PAK erfolgte gemäss EPA Norm 8'100. Nach Extraktion im Soxhlet wurden die Rohextrakte auf Silicagel-Trennsäulen von störenden polaren Verbindungen gereinigt. Mit Gaschromatografie wurden die PAK aufgetrennt und im Massenspektrometer identifiziert und quantifiziert. Vergleiche von Ergebnissen aus PAK Untersuchungen erweisen sich häufig als problematisch, weil die Methodik nicht offengelegt ist oder mit sehr unterschiedlichen Methoden gearbeitet wird. Im Bericht OSBO 1997 wurden verschiedene Verfahren miteinander verglichen.

## **2.4. Statistische Auswertung**

### **2.4.1. Abhängigkeit der Schadstoffgehalte von Strassenfaktoren**

Mit der Rangkorrelation nach Spearman und dem Kruskal-Wallis-Test wurde die distanzmässige Abhängigkeit von der Schadstoffbelastung mit verschiedenen Strassenfaktoren, namentlich der Verkehrsfrequenz und der Steigung untersucht. Dabei wurden dieselben statistischen Verfahren angewendet wie in Holenstein 1995. Dort wurden die Verfahren näher beschrieben oder es wurde auf die Fachliteratur verwiesen.

Der von Spearman vorgelegte Rangkorrelationskoeffizient ist ein Assoziationsmass für ordinale Variablen. Hierbei erfolgt die Berechnung der Masszahl nicht aufgrund der konkreten Werte, sondern der Rangfolge der beobachteten Werte.

Der Kruskal-Wallis-Test ist die verteilungsfreie Variante der einfaktoriellen Varianzanalyse. Die Stichprobe wird nach Rängen sortiert und zu Gruppen zusammengefasst. Anschliessend werden die Rangmittelwerte errechnet. Mit diesen Mittelwerten wird eine Varianzanalyse erstellt, in der anstelle des F-Tests ein Chi-Quadrat-Test benutzt wird.

### **2.4.2. Vertrauensbereich für beobachtete Häufigkeiten des Überschreitens von Grenzwerten**

Die relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richt- und Prüfwerts der VBBo und deren Distanzbereich mit zunehmender Verkehrsdichte wurde aus den Daten errechnet. Die Transsekte wurden dazu nach dem DTV-24h zu Intervallen gruppiert: DTV-24h = 0 - 2'000, 2'000 - 5'000, 5'000 - 10'000, 10'000 - 15'000, 15'000 - 20'000 und 20'000 - 23'000 bei den Kantonsstrassen sowie DTV-24h = 9'000 - 40'000 und 40'000 - 70'000 bei den Nationalstrassen.

Die relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richt- und Prüfwerts stellt einen Schätzwert dar für die Häufigkeit  $\pi$  von Überschreitungen in der Grundgesamtheit aller Strassen je Verkehrsfrequenzintervall. Ein Bereich, der die Häufigkeit  $\pi$  mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit überdeckt, wird Vertrauensbereich genannt. Die Grenzen des 90%-Vertrauensbereichs wurden nach Sachs 1993 berechnet. Anders ausgedrückt bedeutet der Vertrauensbereich, dass bei der beobachteten Häufigkeit einer Stichprobe in 9 von 10 Fällen die Häufigkeit von Richtwertüberschreitungen an allen Strassen (Grundgesamtheit) zwischen den Bereichsgrenzen liegen. Bedingt durch die kleine Stichprobenzahl in den einzelnen Gruppen (N zwischen 0 und 12) sind die Vertrauensbereiche der 90%-Wahrscheinlichkeit breit.

### **3. Abhängigkeit der Schadstoffgehalte von Strassenfaktoren**

#### **3.1. PAK**

Die Abhängigkeit der PAK-Gehalte vom DTV-24h wird mit 99% Wahrscheinlichkeit mit der Spearman'sche Rangkorrelation für alle Distanzen bestätigt. Dies gilt für alle Standorte zusammengenommen sowie getrennt für alle ebenen und alle steilen Standorte. Wegen zu grosser Unterschiede der Varianzen ist die Einwegvarianzanalyse nicht durchführbar. Der verteilungsfreie Kruskal-Wallis Test bestätigt mit 99% Wahrscheinlichkeit weitgehend die Abhängigkeit der Summe der PAK-Gehalte von der Verkehrsfrequenz. Der vorherrschende Einfluss der Verkehrsfrequenz auf die PAK-Gehalte gilt im strassennahen Bereich nur für Acker und Weide. Sobald Eingriffe in den Boden stattgefunden haben, wie bei Böschungen, Radwegen und anderen baulichen Veränderungen, lässt sich keine klare Abhängigkeit mehr zeigen.

Eine Abhängigkeit der PAK-Gehalte von der Steigung wird für alle Transekte zusammengenommen nur im Nahbereich bei einem Meter Distanz bestätigt. Die Transekte ebener Strassen zeigen eine Abhängigkeit der PAK-Gehalte von der Steigung bis in eine Distanz von 25 Meter. Bei Transekten steiler Strassen ergibt sich negative Korrelation. Dies muss jedoch auf eine Verfälschung der Stichprobe infolge Abhängigkeit der Verkehrsfrequenz von der Steigung zurückgeführt werden. Die steilen Strassen der Stichprobe weisen tendenziell eine geringere Verkehrsdichte auf.

#### **3.2. Blei**

Die Abhängigkeit der Bleigehalte vom DTV-24h wird mit 99% Wahrscheinlichkeit mit der Spearman'sche Rangkorrelation für alle Distanzen bis 25 Meter bestätigt. In grösserer Entfernung kann eine Abhängigkeit nicht mehr angenommen werden. Der verteilungsfreie Kruskal-Wallis Test bestätigt mit 99% Wahrscheinlichkeit weitgehend die Abhängigkeit der Summe der Bleigehalte von der Verkehrsfrequenz. Es sei auch auf frühere Publikationen verwiesen (Gspöner 1996, Holenstein 1995).

## 4. Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo

### 4.1. Beobachtete Häufigkeiten

In den folgenden Grafiken sind die beobachteten Überschreitungen des Richtwerts für PAK nach VBBo (1 mg/kg Trockensubstanz) als relative Häufigkeit der Stichprobengruppen mit bestimmter Distanz zum Strassenrand und mit bestimmter Verkehrsfrequenz (DTV-24h) dargestellt. Bei der Beurteilung dieser Auswertung ist zu beachten, dass der Probenumfang dieser Stichprobengruppen gering ist. Die Anzahl Proben je Gruppe liegt zwischen 2 und 12, mehrheitlich zwischen 4 und 8 (siehe auch Kapitel 4.2).

Die Grafiken zeigen für die Kantonsstrassen eine Zunahme der beobachteten Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen mit zunehmender Verkehrsfrequenz und eine Ausdehnung des belasteten Bereichs in zunehmender Distanz vom Strassenrand (Abb. 1). Diese Häufigkeitszunahme ist an ebenen Strassen bei DTV-24h über 10'000 nicht mehr markant. In allen Verkehrsfrequenzgruppen ist eine höhere Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen an steilen Transsekten festzustellen. Dies ist besonders deutlich bei den verkehrssarmen Strassen mit DTV-24h unter 5'000. In einzelnen Fällen wird der Richtwert in weiter Distanz von 50 und 100 Metern wieder überschritten. Dort liegen die Ursachen vermutlich nicht bei der Strasse.

Die beobachteten Häufigkeiten der Richtwertüberschreitungen der Nationalstrassen sind mit jenen der Kantonsstrassen mit DTV-24h zwischen 10'000 und 15'000 vergleichbar (Abb. 2). Die Gruppe der stark frequentierten Nationalstrassen (DTV-24h 40'000-70'000) weist eine deutlich höhere Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen gegenüber der Gruppe der weniger stark befahrenen Nationalstrassen auf. Bei etwa 10 Meter Entfernung fällt eine Zone mit geringerer Belastung auf. Die ihre Ursache dafür liegt möglicherweise im Ausbreitungsverhalten der PAK.

### 4.2. Kritische Distanz für Richtwertüberschreitungen

Die maximale Distanz zum Strassenrand, innerhalb derer der Richtwert mit mindestens der jeweils angegebenen Häufigkeit überschritten wird, heisst kritische Distanz. Die kritische Distanz für die beobachtete Häufigkeit von 10% und 50% wird aus den Verteilungen der verschiedenen Verkehrsfrequenzgruppen abgelesen. Wiederum ist bei der Beurteilung die geringe Anzahl Proben je Distanz und Verkehrsfrequenz zu beachten. Deshalb wird von der unteren Grenze des 90%-Vertrauensbereichs als robustere Schätzung eine kritische Distanz für die erwartete Häufigkeit von Richtwertüberschreitungen der Grundgesamtheit aller Strassen abgeleitet (Abb. 3).

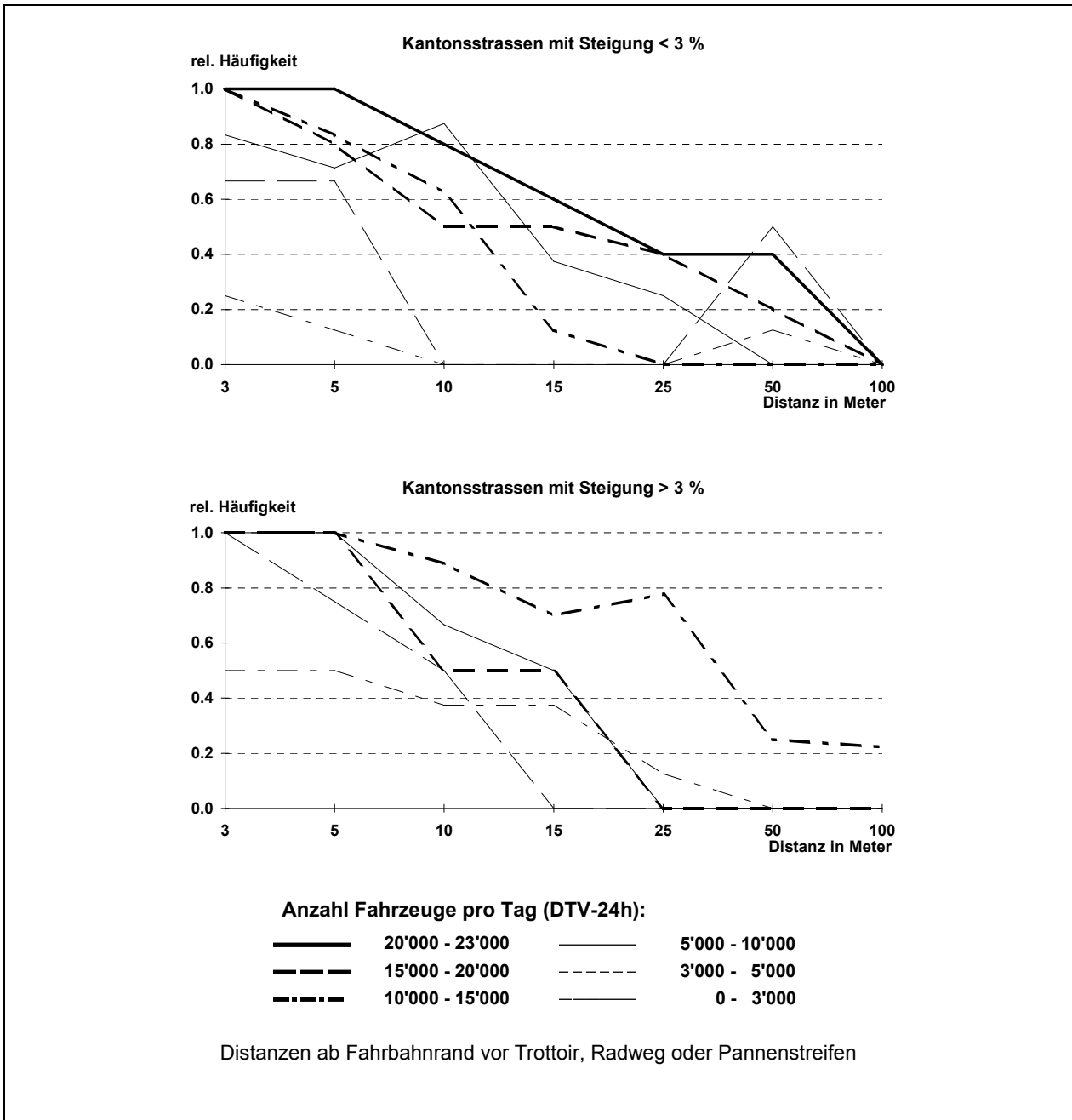
Abb. 4 zeigt die kritischen Distanzen für die beobachtete Häufigkeit von 50% und 10% sowie die erwartete 10% Häufigkeit für die Richtwertüberschreitungen von der Grundgesamtheit aller Strassen aufgrund der unteren 90%-Vertrauensgrenzen.

Die kritische Distanz für die 50% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen steigt bei ebenen Strassen von 5 Meter (DTV = 2'000 - 5'000) auf 10 Meter (DTV-24h = 5'000 - 15'000) und 15 Meter (DTV-24h über 15'000) an. Bei steilen Strassen steigen die kritische Distanzen für 50% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen stetig von 5 Meter (DTV-24h = 0 - 2'000) auf 25 Meter (DTV-24h = 10'000 - 15'000). Der Rückgang auf 15 Meter bei DTV-24h = 15'000 - 20'000 ist unsicher, da er nur auf der Auswertung zweier Transsekte beruht.

Für 10% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen weisen die ebenen Strassen bei geringem Verkehr (DTV-24h = 0 - 5'000) eine kritische Distanz von 5 Meter auf. Bei höherer Verkehrsdichte steigt die kritische Distanz auf 15 bis 25 Meter (DTV-24h = 5'000 - 15'000) und 50 Meter (DTV-24h über 15'000). Bei den verkehrssarmen steilen Strassen liegt die kritische Distanz für 10% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen schon bei 10 Meter und darüber. Die kritische Distanz von 25 Meter bei DTV-24h = 0 - 2'000 ist aber möglicherweise auf Fremdeinfluss bei einem Transsekt zurückzuführen. Bei zunehmender Verkehrsdichte der

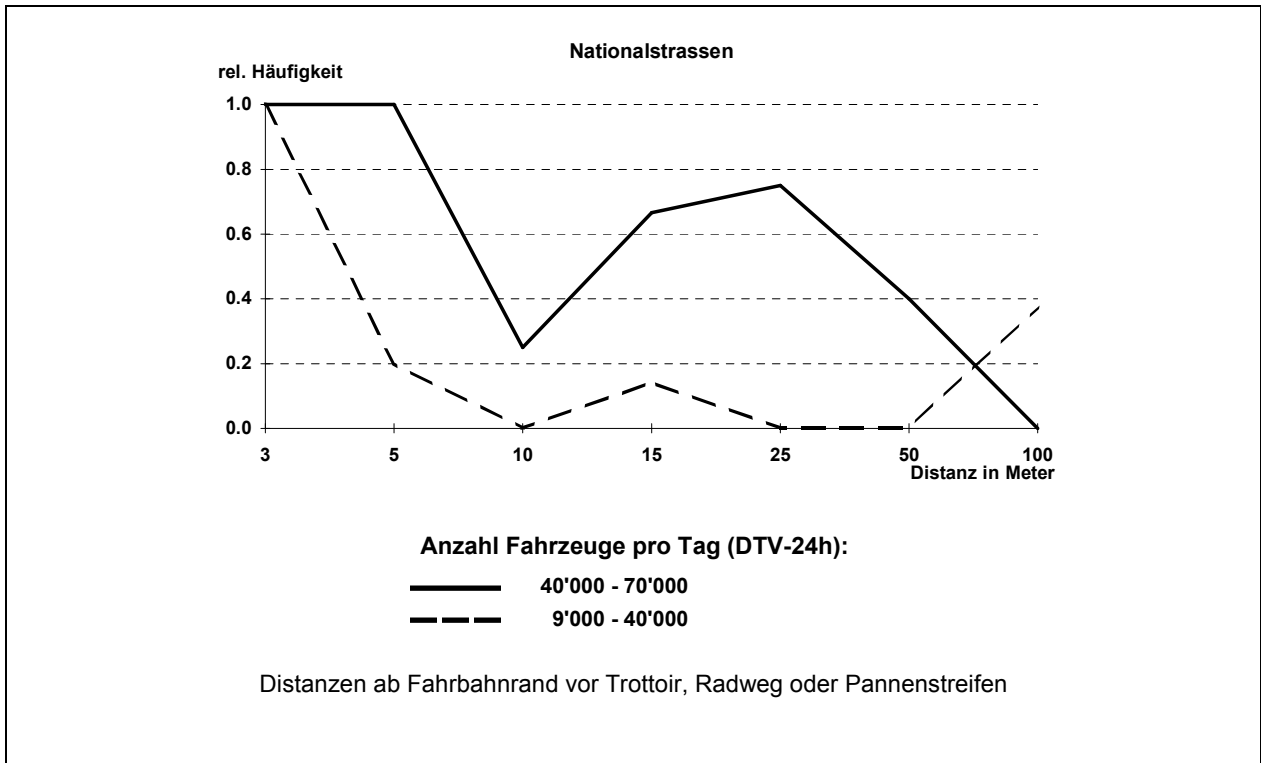
steilen Strassen steigt die kritische Distanz bis 100 Meter (DTV-24h = 10'000 - 15'000). Wieder ist der Wert von 15 Meter für DTV-24h = 15'000 - 20'000 unsicher (vgl. oben).

Abb. 1: Relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBo

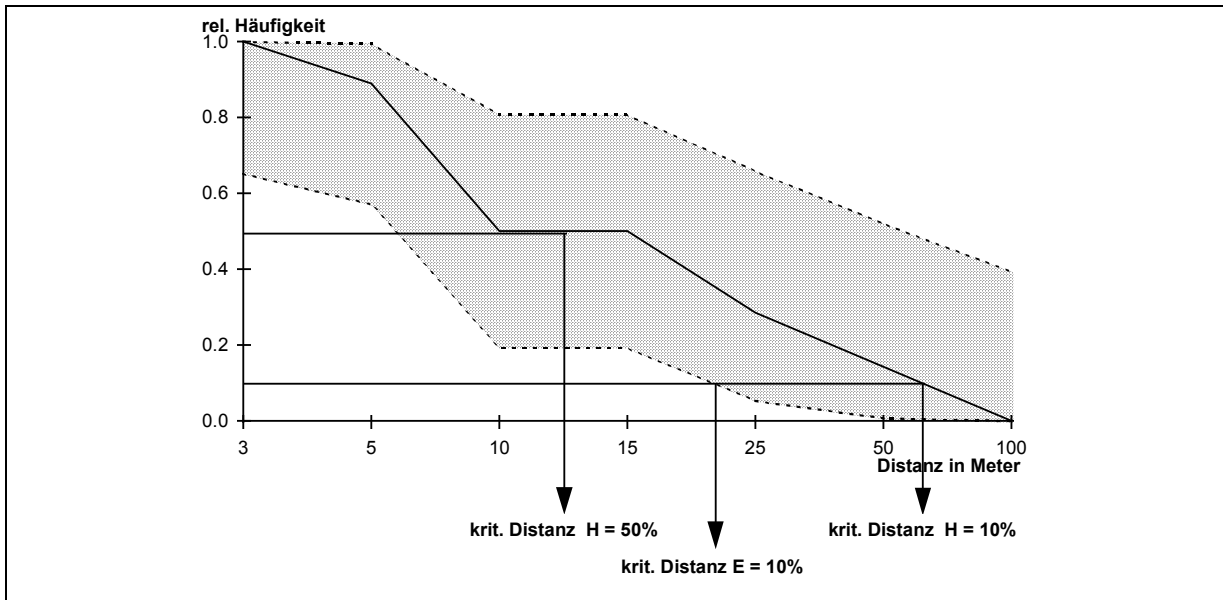




**Abb. 2: Relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo**



**Abb. 3: Beispiel zur Bestimmung der kritischen Distanz**  
(alle Kantonsstrassen mit 15'000 - 20'000 Fahrzeugen je 24 Stunden)



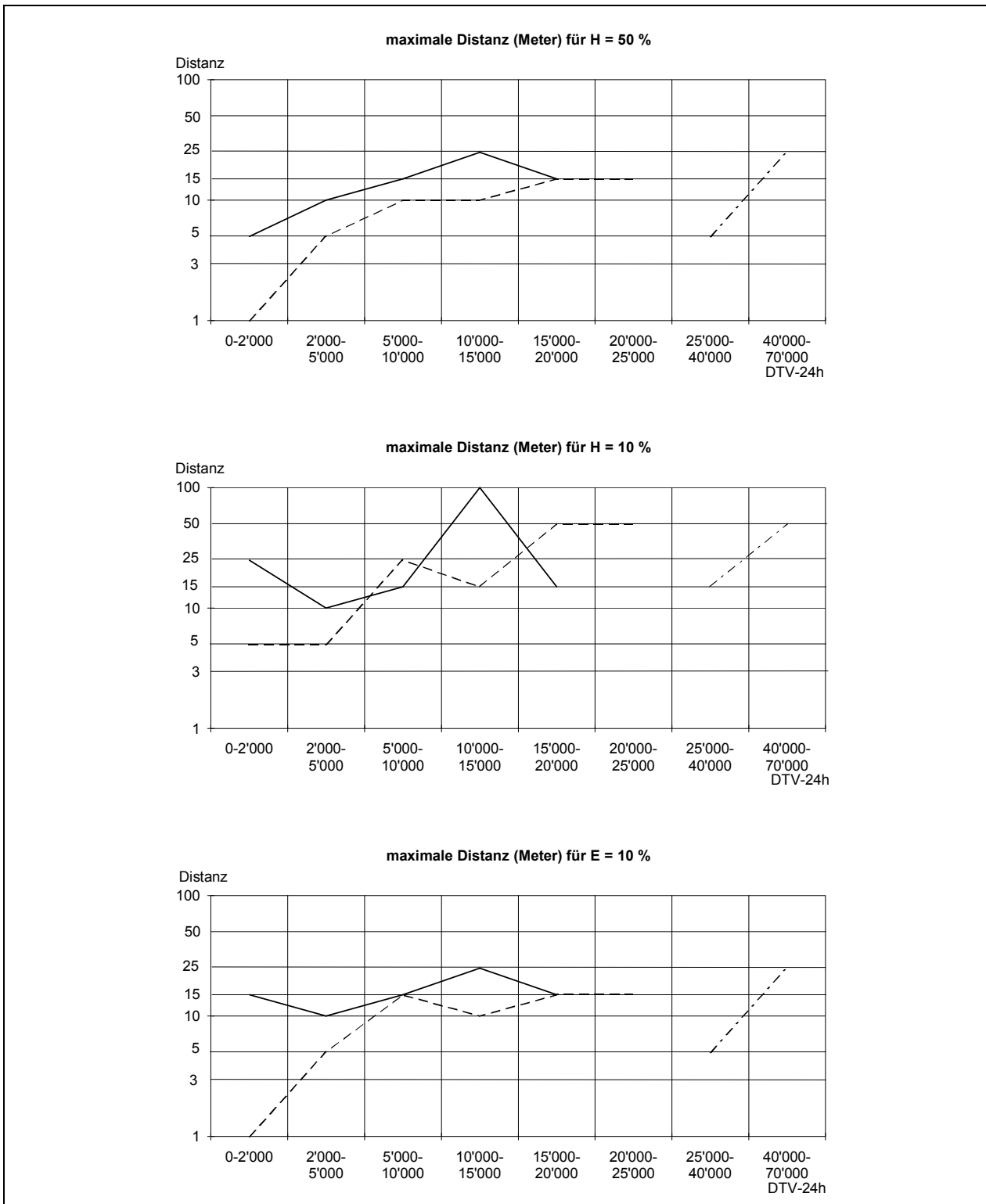
— beobachtete relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo

90%-Vertrauensbereich

H = relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo

E = untere 90%-Vertrauensgrenze der Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo

**Abb. 4: Kritische Distanzen der Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo**



- Kantonsstrassen mit Steigung > 3 %
- Kantonsstrassen mit Steigung < 3 %
- .-.-.- Nationalstrassen

H = relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo

E = untere 90%-Vertrauensgrenze der Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo

Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannensteifen

Eine vorsichtige Schätzung der kritischen Distanzen für die Grundgesamtheit aller Strassen wird mit Hilfe der 90%-Vertrauensgrenzen unternommen. Bei den ebenen Strassen liegt die untere 90%-Vertrauensgrenze für die 10% Häufigkeit für die Richtwertüberschreitungen zwischen 5 Meter (DTV-24h 2'000 - 5'000) und 15 Meter (DTV-24h = 5'000 - 10'000). Die untere 90%-Vertrauensgrenze für 10% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen der steilen Strassen folgt demselben Muster wie die beobachtete Häufigkeit. Sie bewegt sich zwischen 10 Meter (DTV-24h 2'000 - 5'000) und 25 Meter (DTV-24h = 10'000 - 15'000). Die Werte für DTV-24h = 0 - 2'000 und DTV-24h = 15'000 - 20'000 sind aus den oben genannten Gründen auch hier unsicher.

Obwohl die Nationalstrassen eine bedeutend höhere Verkehrsdichte aufweisen, liegen ihre kritischen Distanzen für die Häufigkeit von Richtwertüberschreitungen nicht über denjenigen stark befahrener Kantonsstrassen. Die Werte für DTV-24h = 25'000 - 40'000 liegen sogar bei denjenigen der mittelstark frequentierten Kantonsstrassen. Über die Gründe kann hier nur spekuliert werden. Vielleicht tragen eine ausgeglichene Fahrweise und höhere Geschwindigkeiten zu einer besseren Verbrennung bei.

## 5. Überschreiten des Prüfwerts für PAK nach VBBo

### 5.1. Beobachtete Häufigkeiten

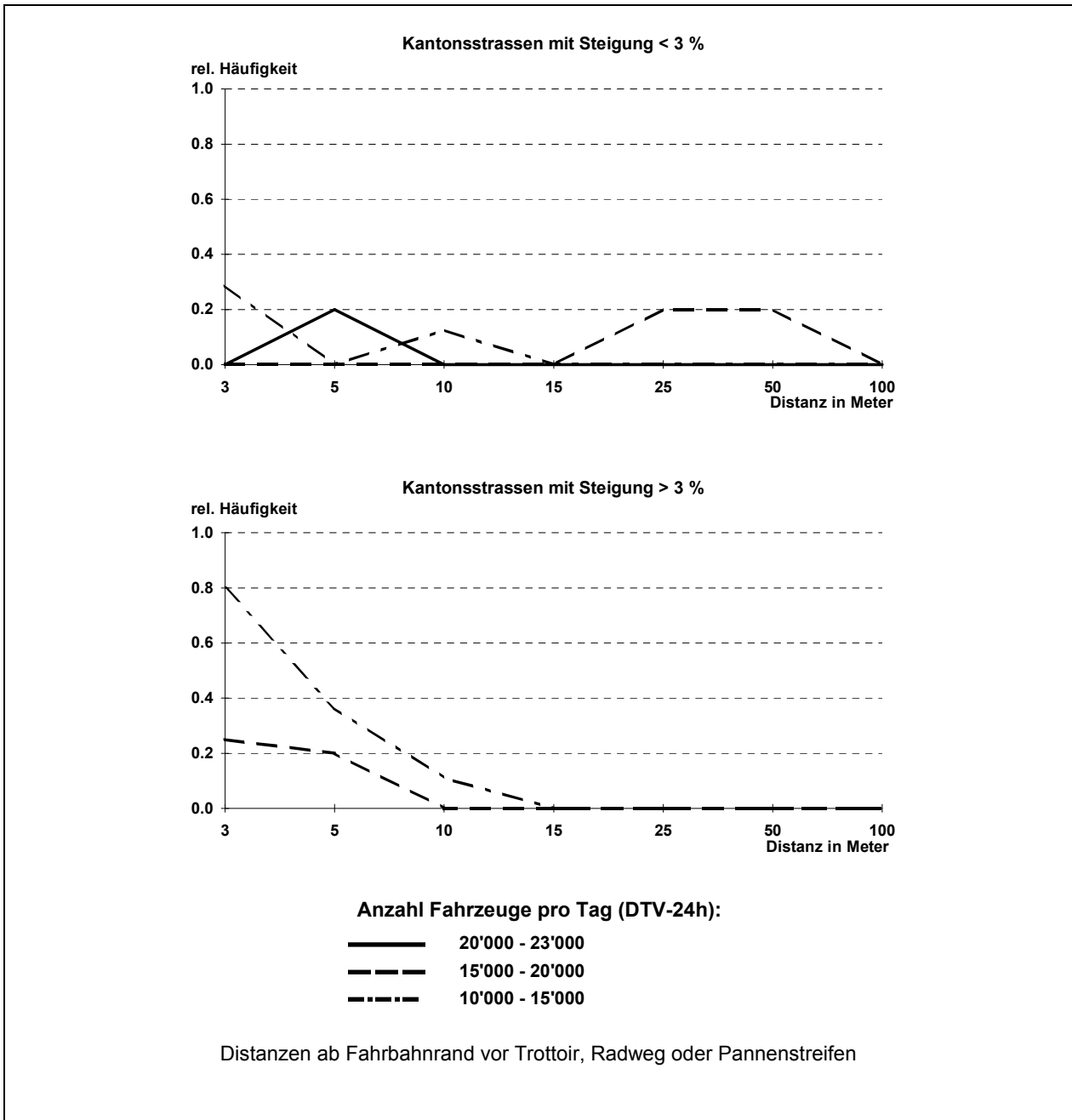
In den folgenden Grafiken sind die beobachteten Häufigkeiten von Überschreitungen des Prüfwerts für Nahrungspflanzenanbau (20 mg/kg Trockensubstanz) dargestellt (Abb. 5 und 6). Bei der Beurteilung dieser Auswertung ist wiederum zu beachten, dass der Probenumfang dieser Stichprobengruppen gering ist (vgl. Kapitel 4). Überschreitungen des Prüfwerts werden erst ab DTV-24h über 10'000 beobachtet.

Bei den ebenen Strassen treten Prüfwertüberschreitungen bis zu einer Häufigkeit von 20% in zunehmender Entfernung unregelmässig auf. Die Distanz zum Strassenrand beträgt dabei bis 15 Meter mit Ausnahme eines Transsekts in Dietikon wo bei 25 und 50 Meter nochmals eine Zunahme der Belastung über den Prüfwert festzustellen ist. Dies ist vermutlich auf Fremdeinfluss zurückzuführen.

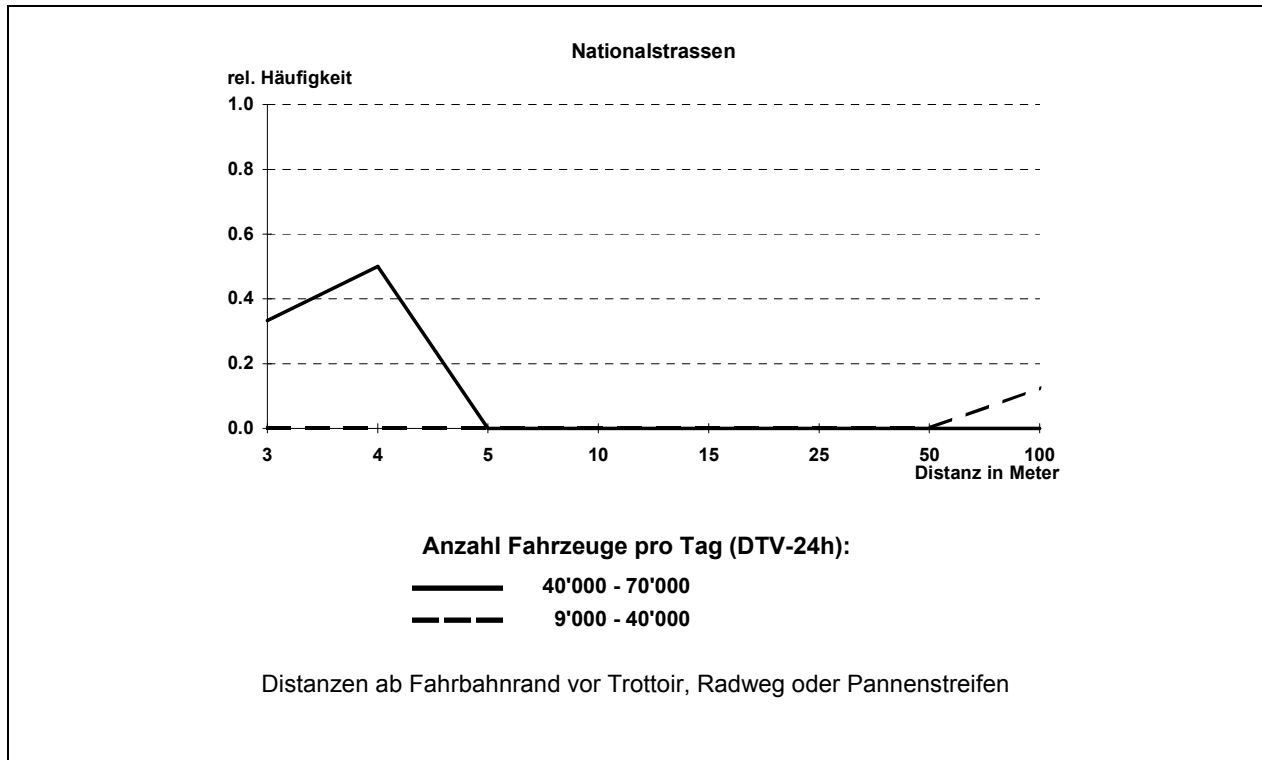
Bei den Transsekten steiler Strassen nimmt die Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen von 15 Meter bis drei Meter stetig zu. die Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen erreicht bei DTV-24h = 10'000 - 15'000 80% und bei DTV-24h = 15'000 - 20'000 25%. Die Frage, weshalb die Häufigkeit bei höherer Verkehrsfrequenz geringer ist als bei der geringeren Gruppe, muss offen bleiben. Der Stichprobenumfang ist für die geringe Häufigkeit des Auftretens von Prüfwertüberschreitungen sehr klein.

Bei den Nationalstrassen zeigen sich Prüfwertüberschreitungen nur bei einem DTV-24h von über 40'000 innerhalb 5 Meter Distanz zum Strassenrand.

Abb. 5: Relative Häufigkeit für das Überschreiten des Prüfwerts für PAK nach VBBo



**Abb. 6: Relative Häufigkeit für das Überschreiten des Prüfwerts für PAK nach VBBo**



## 5.2. Kritische Distanz für Prüfwertüberschreitungen

Abb. 7 zeigt die kritischen Distanzen für Prüfwertüberschreitungen. Da nur bei den Transsekten steiler Strassen mit DTV-24h von 10'000 - 15'000 die Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen deutlich über 20% beträgt, wurde diese als höchste Häufigkeit für die Darstellung verwendet.

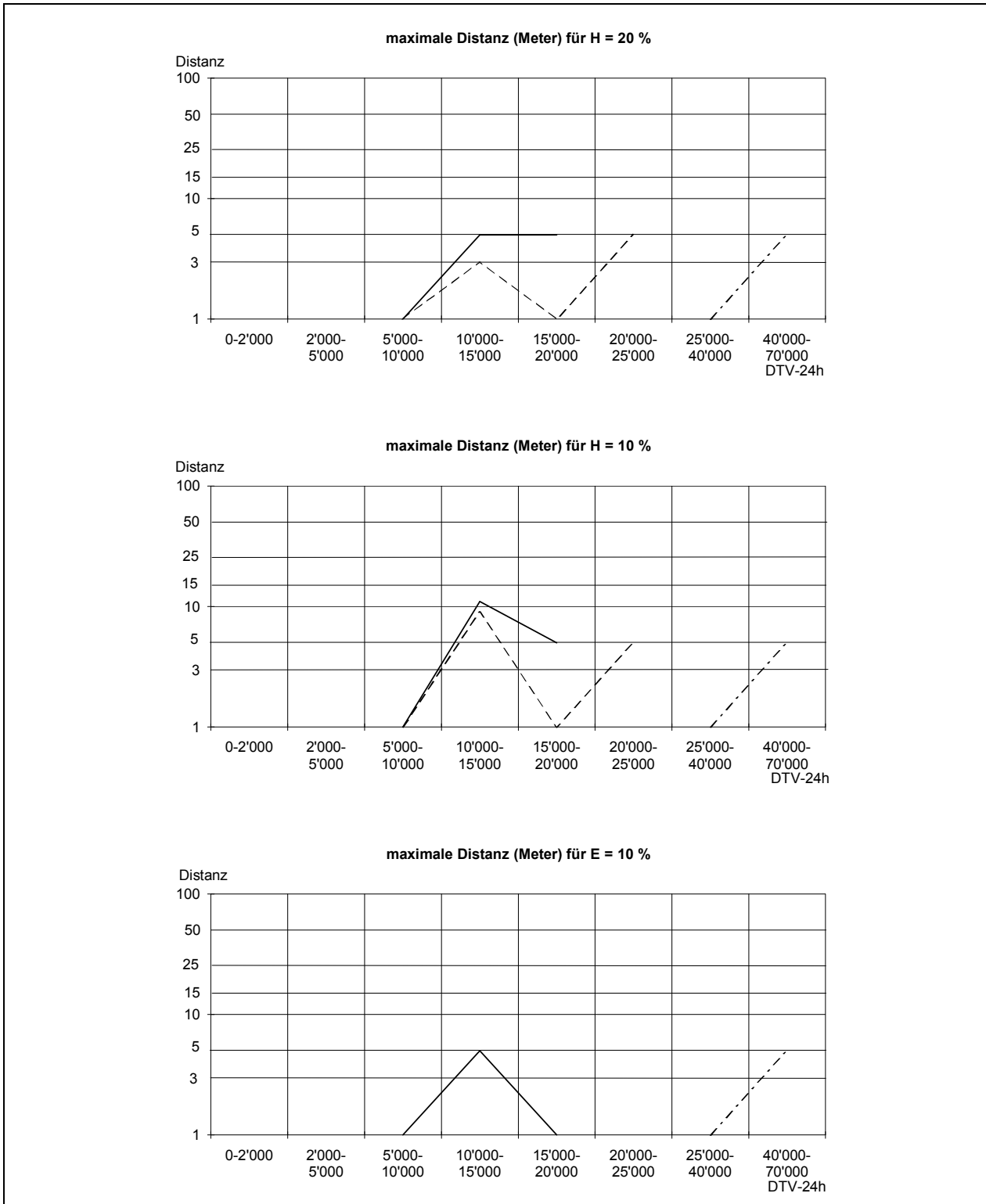
Die kritische Distanz für 20% Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen übersteigt 5 Meter nicht. Die kritische Distanz für 10% Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen erreicht bei Strassen mit DTV-24h von 10'000 - 15'000 10 Meter. Die Unregelmässigkeit der kritischen Distanzen bei den ebenen Strassen und die Tatsache, dass die Nationalstrassen keine grösseren kritischen Distanzen aufweisen als die Kantonsstrassen, muss auch hier wegen der geringen Probenzahlen unbegründet bleiben.

Die untere 90%-Vertrauensgrenze für die Häufigkeit der Prüfwertüberschreitungen in der Grundgesamtheit aller Strassen steigt nur in einzelnen Fällen über Null. Im Bereich DTV-24h 10'000 bis 15'000 kann die kritische Distanz, bis zu welcher die untere Grenze des 90%-Vertrauensbereichs 10% Häufigkeit übersteigt, vorsichtig mit etwa 5 Meter angegeben werden.

## 6. Überschreiten des Sanierungswerts für PAK nach VBBo

Der Sanierungswert für PAK nach VBBo wird im vorliegenden Datensatz nur zweimal überschritten, am Hirzel im Transsekt S1 bei 1 Meter (DTV-24h 13088, Steigung 5,3%) und in Birmensdorf Teiltranssekt S bei 3 Meter (DTV-24h 14728, Steigung 4%). Eine statistische Auswertung kann nicht vorgenommen werden.

**Abb. 7: Kritische Distanzen der Häufigkeit für das Überschreiten des Prüfwerts für PAK nach VBBo**



- Kantonsstrassen mit Steigung > 3 %
- - - - - Kantonsstrassen mit Steigung < 3 %
- . - . - Nationalstrassen

H = relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo  
 E = untere 90%-Vertrauensgrenze der Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo  
 Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannesteifen

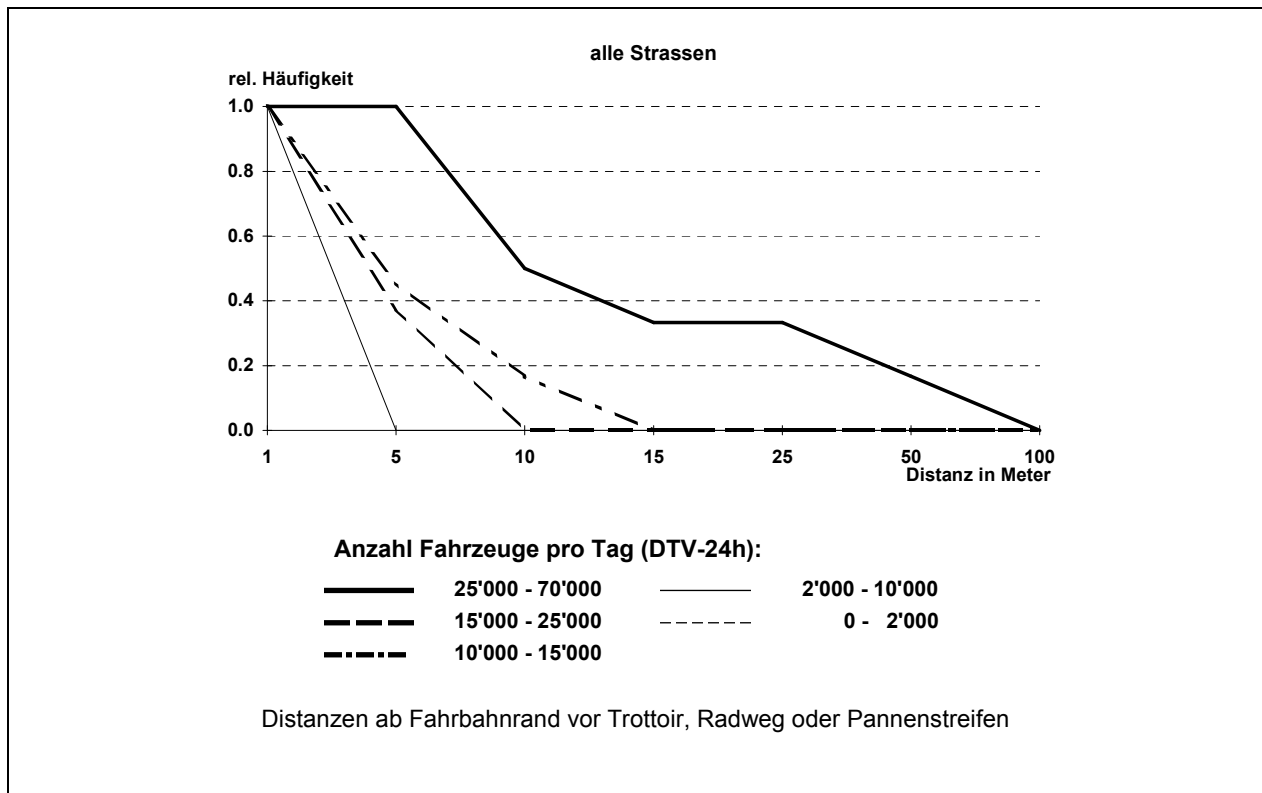
## 7. Überschreiten des Richtwerts für Blei nach VBBo

In Ergänzung zu den PAK Werten wird im folgenden stellvertretend für die Schwermetalle die Bleibelastung dargestellt. Als Grundlage dienen Daten der früheren Untersuchung der Fachstelle Bodenschutz (Holenstein 1994) und der Diplomarbeit von Hitz 1994. Ergebnisse weiterer Untersuchungen sind bei Gsponer 1996 zusammengefasst.

### 7.1. Beobachtete Häufigkeiten

In Abb. 8 sind die beobachteten Überschreitungen des Richtwerts für Blei (50 mg/kg Trockensubstanz) als relative Häufigkeit der Stichprobengruppe mit bestimmter Distanz zum Strassenrand und mit bestimmter Verkehrsfrequenz (DTV-24h) dargestellt.

**Abb. 8: Relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für Blei nach VBBo**



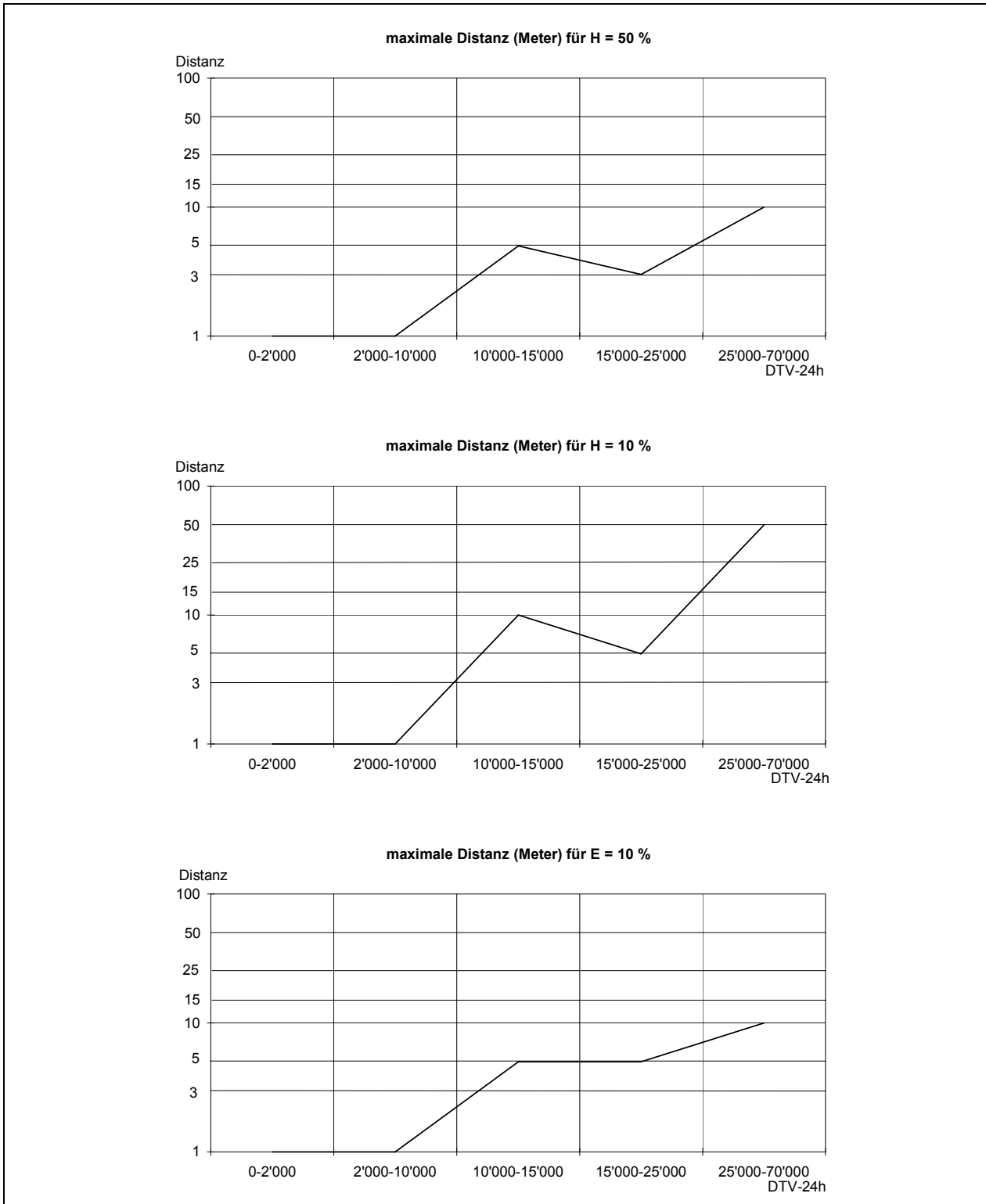
Bei den schwach befahrenen Strassen (DTV-24h=0-2'000) sind noch keine Richtwertüberschreitungen zu verzeichnen. Mit zunehmender Verkehrsdichte erhöht sich auch bei Blei die Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen. Im Gegensatz zu den PAK sind für Blei die relativen Häufigkeiten für Richtwertüberschreitungen bei den am stärksten frequentierten Nationalstrassen (DTV-24h=25'000-70'000) deutlich höher als bei den Kantonsstrassen.

### 7.2. Kritische Distanz für Richtwertüberschreitungen

Abb. 9 zeigt die kritischen Distanzen für die Häufigkeiten der Richtwertüberschreitungen. Bis zu einem DTV-24h von 10'000 treten Richtwertüberschreitungen nur innerhalb eines Meters Distanz auf.

Mit einer Häufigkeit von 50% wird der Richtwert bei einem DTV-24h von 10'000 bis 25'000 zwischen 3 und 5 Meter überschritten. Bei den Nationalstrassen (DTV-24h=25'000-70'000) dehnt sich die kritische Distanz auf 10 Meter aus.

**Abb. 9: Kritische Distanzen der Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für Blei nach VBB0**



H = relative Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBB0  
E = untere 90%-Vertrauensgrenze der Häufigkeit für das Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBB0  
Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannensteifen



Die kritische Distanz für 10% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen liegt bei Strassen mit DTV-24h von 10'000 bis 25'000 ebenfalls bei 5 - 10 Meter. Die Nationalstrassen haben für die 10% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen eine kritische Distanz von 50 Meter.

Die untere 90%-Vertrauensgrenze für die 10% Häufigkeit der Richtwertüberschreitungen liegt bei einem DTV-24h von 10'000 bis 25'000 bei 5 Meter. Bei den Nationalstrassen (DTV-24h=25'000-70'000) dehnt sich die kritische Distanz auf 10 Meter aus.

### **7.3. Überschreiten des Prüf- und Sanierungswertes**

Überschreitungen des Prüf- oder Sanierungswertes nach VBBo werden hier nicht näher analysiert. Überschreitungen des Prüfwertes kommen bei einem DTV-24h bis 15'000 gelegentlich, über 20'000 regelmässig in einer Distanz von 1 bis 5 Meter vor.

## **8. Verdachtsklassierung und Massnahmen für Belastung mit PAK und Blei**

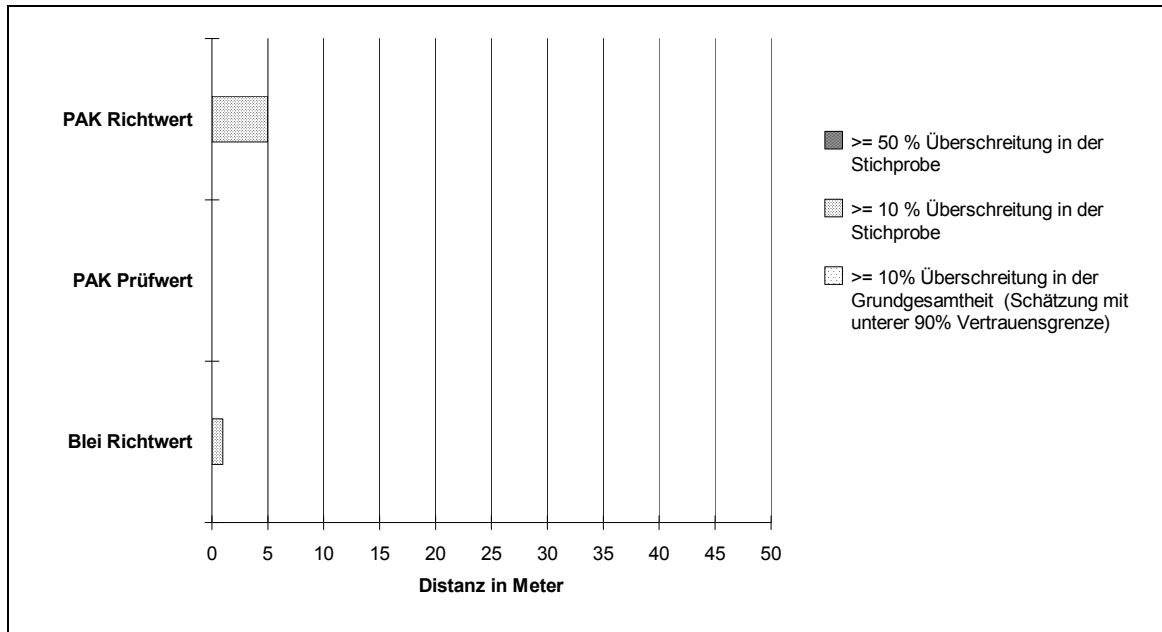
Die Schadstoffbelastung mit PAK und Blei dehnt sich auch bei Strassen geringer Verkehrsdichte bereits in eine Distanz von 1 bis 5 Meter, bei höherer Verkehrsdichte bis 50 oder 100 Meter aus. Die Anlage "Strasse" hört nicht am asphaltierten Rand auf. Neben der Schadstoffbelastung ist der Boden auch auf weite Strecken durch bauliche Massnahmen, wie Dämme, Böschungen, Radwege und ähnliches, verändert.

Aufgrund der kritischen Distanzen für beobachtete und geschätzte Häufigkeiten der Richt- und Prüfwertüberschreitungen in Abhängigkeit von der Verkehrsfrequenz und der Strassensteigung wird eine Verdachtsklassierung vorgeschlagen. In der Kategorie A ist die Belastung mit PAK und Blei noch gering und auf den Randbereich der Strassen näher 5 Meter beschränkt. In Kategorie B besteht eine mässige Belastung im Nahbereich der Strassen mit PAK bis 25 Meter und Blei bis 10 Meter Entfernung. In Kategorie C ist die weitere Umgebung mit PAK bis 100 Meter mässig belastet. Im Nahbereich ist eine starke Belastung mit PAK zu erwarten. Für Blei besteht eine mässige Belastung bis 10 Meter. In Kategorie D ist die weitere Umgebung mit PAK und Blei bis 50 Meter mässig belastet.

## Kategorie A

Belastung im Randbereich der Strassen bis 5 Meter (siehe Abb. 10).  
Strassen mit unter 3 % Steigung und geringem Verkehr, DTV-24h unter 2'000.

**Abb. 10: Zu erwartende Schadstoffverteilung Strassen der Kategorie A**

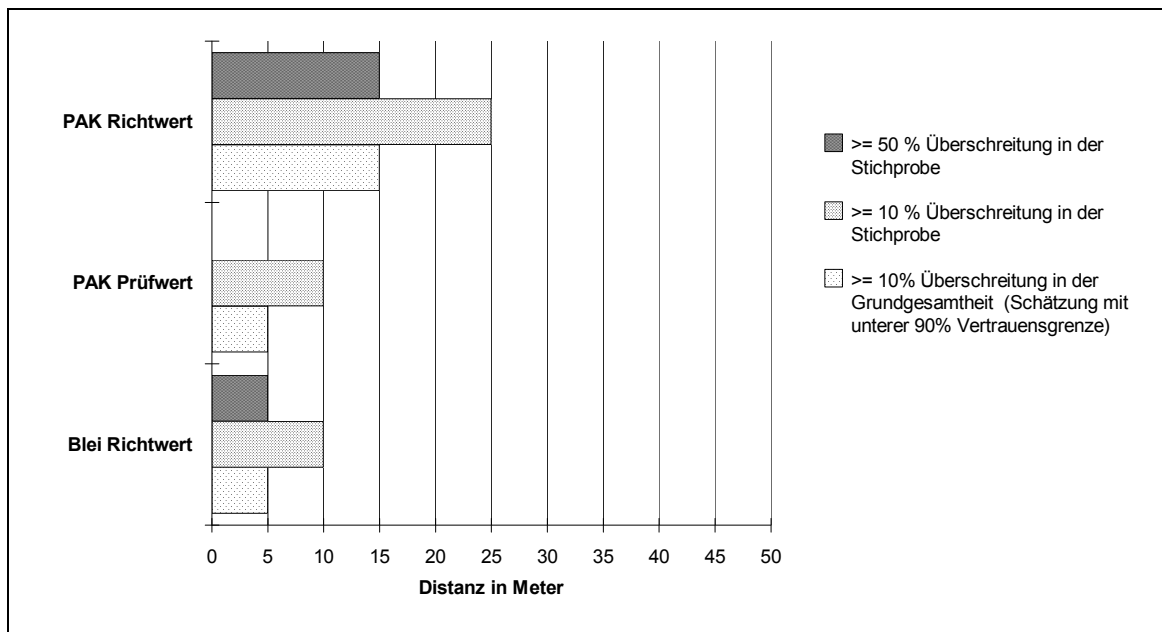


Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannensteifen

## Kategorie B

Belastung im Nahbereich der Strassen bis 25 Meter (siehe Abb. 11).  
a) Strassen mit unter 3 % Steigung und mässigem Verkehr, DTV-24h 2'000 - 15'000.  
b) Strassen mit über 3 % Steigung und mässigem Verkehr, DTV-24h 0 - 10'000.

**Abb. 11: Zu erwartende Schadstoffverteilung Strassen der Kategorie B**



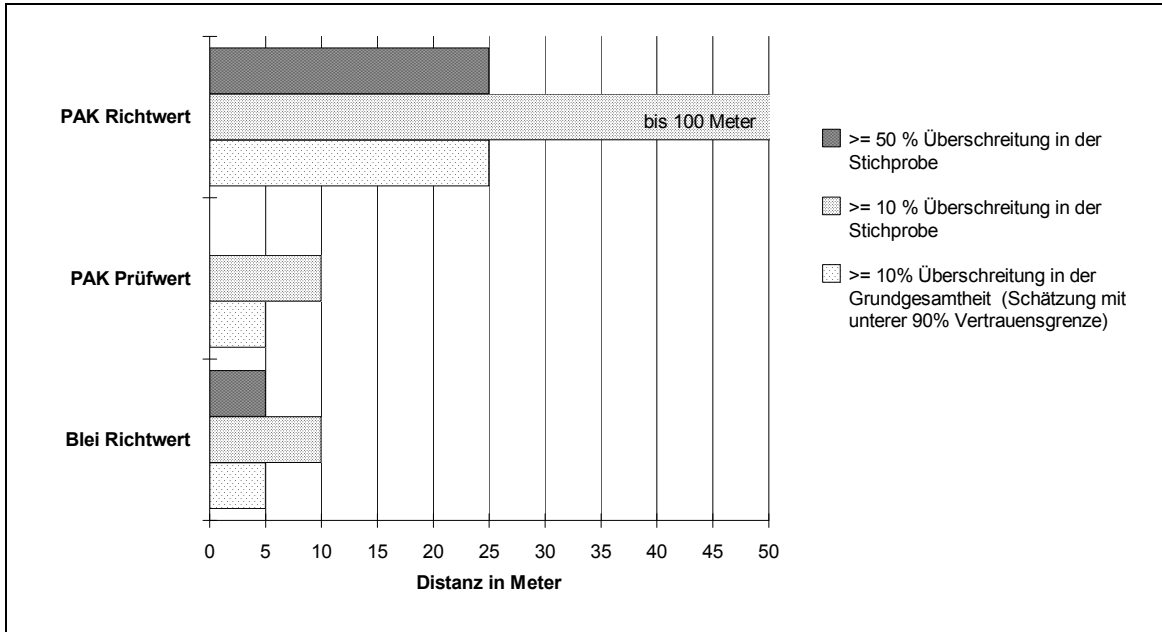
Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannensteifen

### Kategorie C

Belastung in der weiteren Umgebung der Strassen mit PAK bis 100 Meter, Blei nur bis 10 Meter (siehe Abb. 12).

- a) Strassen mit unter 3 % Steigung und starkem Verkehr, DTV-24h 15'000 - 25'000.
- b) Strassen mit über 3 % Steigung und starkem Verkehr, DTV-24h 10'000 - 25'000.

**Abb. 12: Zu erwartende Schadstoffverteilung Strassen der Kategorie C**

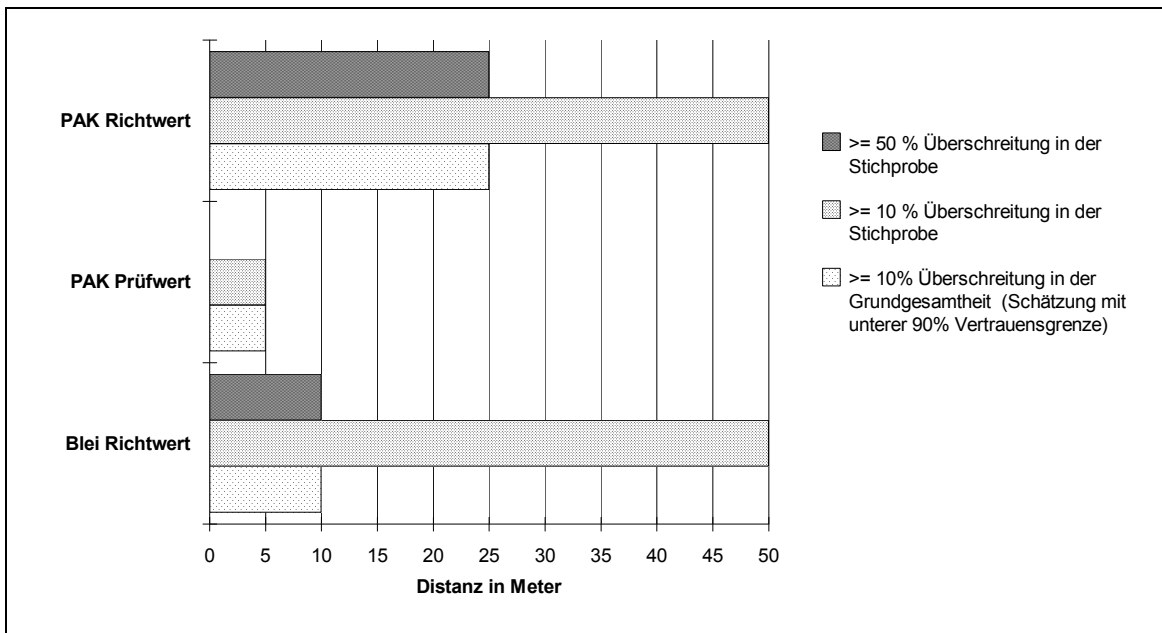


Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannensteifen

### Kategorie D

Belastung in der weiteren Umgebung der Strassen mit PAK und Blei bis 50 Meter (Abb. 13). Strassen mit starkem Verkehr, DTV-24h 25'000 - 70'000.

**Abb. 13: Zu erwartende Schadstoffverteilung Strassen der Kategorie D**



Distanz ab Fahrbahnrand vor Trottoir, Radweg oder Pannensteifen

Als Massnahmen bei Richt- oder Prüfwertüberschreitungen kommen in Frage:

**Richtwert**

- Massnahmen gemäss VBBo Art. 8;
- Kontrolle des Materials bei Bodenverschiebungen;
- weitere Schadstoffausbreitung nach Möglichkeit minimieren, zum Beispiel durch Hecken oder Wälle.

**Prüfwert**

- Massnahmen wie bei Richtwertüberschreitungen (VBBo Art. 9 Abs. 1;

zusätzlich:

- generalisierte Gefährdungsabschätzung zusammen mit den Bundesbehörden (VBBo Art. 9 Abs. 1);
- eventuell Nutzungsbeschränkungen, besonders bei Spielplätzen und Nahrungsmittelanbau (VBBo Art. 9 Abs. 2).

**Sanierungswert**

- Massnahmen wie bei Richt- und Prüfwertüberschreitungen;

zusätzlich:

- Erlass von Nutzungsbeschränkungen gemäss (VBBo Art. 10);
- eventuell Dekontamination oder Sicherung bei Gefährdung des Grund- oder Oberflächenwassers.

## 9. Literatur

Arbeitsgruppe 'Organische Schadstoffe', OSBO, Untersuchung zur Standardisierung des Vorgehens bei der Bestimmung von PAK im Boden, Winterthur 1997.

EPA, Test-Method: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. EPA-Method 610, 07. United states environmental Agency 1982.

FAC , Schriftenreihe Nr. 5, Methoden für Bodenuntersuchungen, Seite 143, Bern - Liebefeld 1989.

FALS, Lärmschutzkataster des Kantons Zürich, Strassendaten der Fachstelle Lärmschutz, 1989 - 1993.

Gsponer R. , Ursachendifferenziertes Vorgehen zur verdachtsorientierten Erkundung von Schwermetallbelastungen im Boden, S. 133, Diss. ETHZ 1996.

Hitz C. , Schwermetallbelastung an Eisenbahnlinien und Strassen im zürcherischen Furttal, Diplomarbeit ETHZ 1994.

Holenstein J. , Die Belastung mit Schwermetallen und PAK an ausgewählten Strassen im Kanton Zürich, Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich, September 1995.

Holenstein J. , Die Schwermetallbelastung an ausgewählten Standorten des Kantons Zürich, Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich 1994.

Jablonkay A. , Bodenbelastung durch PAK an Strassen, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich und an der Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich, Februar 1998.

Sachs L. , Statistische Methoden, S. 63, Springer Verlag 1993.



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	ii
1. Anlass und Zielsetzung.....	1
2. Methoden .....	1
2.1. Standortwahl .....	1
2.2. Probenahme.....	2
2.3. Analytik .....	2
2.4. Statistische Auswertung .....	2
2.4.1. Abhängigkeit der Schadstoffgehalte von Strassenfaktoren .....	2
2.4.2. Vertrauensbereich für beobachtete Häufigkeiten des Überschreitens von Grenzwerten .....	2
3. Abhängigkeit der Schadstoffgehalte von Strassenfaktoren.....	3
3.1. PAK.....	3
3.2. Blei.....	3
4. Überschreiten des Richtwerts für PAK nach VBBo .....	4
4.1. Beobachtete Häufigkeiten .....	4
4.2. Kritische Distanz für Richtwertüberschreitungen .....	4
5. Überschreiten des Prüfwerts für PAK nach VBBo.....	8
5.1. Beobachtete Häufigkeiten .....	8
5.2. Kritische Distanz für Prüfwertüberschreitungen.....	10
6. Überschreiten des Sanierungswerts für PAK nach VBBo .....	10
7. Überschreiten des Richtwerts für Blei nach VBBo .....	12
7.1. Beobachtete Häufigkeiten .....	12
7.2. Kritische Distanz für Richtwertüberschreitungen .....	12
7.3. Überschreiten des Prüf- und Sanierungswertes .....	14
8. Verdachtsklassierung und Massnahmen für Belastung mit PAK und Blei.....	14
9. Literatur .....	18

## **Zusammenfassung**

Die in einer Diplomarbeit (Jablonkay 1998) sowie in ergänzenden Probenahmen durch die Fachstelle Bodenschutz erhobenen Daten werden weitergehend statistisch ausgewertet. Als Grundlage für die Auswahl der Strassen, an welchen PAK und Blei im Boden untersucht wurde, dienten Strassendaten aus dem Lärmkataster der Fachstelle für Lärmschutz des Kantons Zürich (FALS 1989-93). Als Mass für die Verkehrsfrequenz diente der durchschnittliche tägliche Verkehr auf 24 Stunden bezogen. Die Probenahme erfolgte an den Standorten standardisiert entlang Transsekten beidseits der Strasse in normierten Distanzen.

Gut bestätigt wird auch in dieser Untersuchung die Abhängigkeit der Schadstoffbelastung von der Verkehrsfrequenz. Mit zunehmender Verkehrsdichte nimmt die Ausdehnung (kritische Distanz) der beobachteten relativen Häufigkeit von Überschreitungen der Richt- und Prüfwerte nach VBBo zu. Dabei ist eine grössere Ausdehnung bei steilen Strassen (über 3% Steigung) festzustellen. Die Ausbreitung der PAK-Belastung wird mit derjenigen von Blei verglichen (Daten aus Holenstein 1994). Die Schadstoffbelastung mit PAK und Blei dehnt sich auch bei Strassen geringer Verkehrsdichte bereits in eine Distanz bis 5 Meter, bei höherer Verkehrsdichte bis 50 oder 100 Meter aus. Aufgrund der kritischen Distanzen für beobachtete und geschätzte Häufigkeiten für das Überschreiten der Richt- und Prüfwerte für PAK und Blei nach VBBo in Abhängigkeit von der Verkehrsfrequenz und der Strassensteigung wird eine Verdachtsklassierung vorgeschlagen.