

Abschließend sei noch einmal betont, daß der wesentliche Vorteil des vorgestellten Bewertungsverfahrens in seiner Anknüpfung an die leicht und exakt zu erfassenden Abgasemissionen liegt. Zur Ermittlung einer wesentlichen Bewertungskomponente — der Proportionalitätsfaktoren — ist das Verfahren allerdings auf eine plausible Aussage über den Zusammenhang zwischen *globaler Luftverschmutzung* und gesundheitlicher Schädigung angewiesen.

Summary

Hitherto the consideration of traffic depending environment effects (such as noise- and exhaust-gas immissions) referred exclusively to the avoidable costs, when traffic infrastructure measures were judged. With regard to locally limited innerurban investments it is put a ceiling on this method because a sector referred association of avoidable costs for improvements on vehicles (contrary perhaps to noise protection by improved windows) is not possible. In the present article it is tried, by in literature regressionanalytically won hypotheses on the relation between global atmospheric pollution, sanitary damages and the relative toxicity of damaging materials to seize on direct monetarily sanitary damages which are conditioned by traffic immissions. By modal- and route splitting variations this method allows also to take in consideration environment effects, because it refers to emissions which are easily to seize on. The efficiency of the proposal is exemplified at hand of a concret road-section.

Résumé

En jugeant les mesures infrastructurelles du trafic on a jusqu'à présent tenu compte des effets de l'environnement dépendant du trafic routiers (tels que les immissions de bruit et des gaz d'échappement) uniquement du point de vue des coûts évitables. A l'égard d'investissements urbains internes bornés localement on ne peut appliquer cette procédure que jusqu'à un certain point, étant donné l'impossibilité de coordonner, restreint à un secteur partiel, les coûts évitables se référant à des améliorations des véhicules (contrairement p.e. à la protection contre le bruit par des fenêtres perfectionnées). Dans l'article présent l'auteur fait l'essai de déterminer immédiatement du point de vue monétaire les préjudices sanitaires effectués par des immissions routières en se servant des hypothèses gagnées dans la littérature par des analyses de régression en ce qui concerne les connexités existant entre la pollution globale de l'air et les préjudices sanitaires et la toxicité relative des matières dommageables. Cette procédure permet de tenir compte également des effets d'environnement par des variations du splitting modal et routier, parce qu'elle part d'émissions facilement à déterminer. La capacité de la proposition est démontrée au moyen d'un tronçon concret d'une route.

v.st.a

Motorisierung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960-1974

VON DR.-ING. JOACHIM WESTPHAL, HANNOVER

1. Einführung

Die Verkehrsverhältnisse auf den Straßen der Großstädte und Verdichtungsräume sind — hervorgerufen durch die starke Motorisierung breiter Bevölkerungsschichten und den nicht beliebig vermehrbaren Verkehrsraum — vor allem in den Spitzenzeiten des Berufs- und Ausflugsverkehrs schwierig. Im Berufsverkehr treten Probleme nicht nur bei der Abwicklung des fließenden Verkehrs, sondern auch bei der Bewältigung des parkplatzsuchenden und parkenden motorisierten Verkehrs auf.

Eine wesentliche Ursache für diese bekannten Gegebenheiten in den Großstädten und Verdichtungsräumen ist in dem enormen Anwachsen der Motorisierung während der zurückliegenden 25 Jahre zu suchen. Die Trennung der Wohn- und Arbeitsstätten und damit die ausgeprägten Pendlerströme sowie die infolge der starken Motorisierung wachsende Mobilität der Bevölkerung stehen zueinander in enger Wechselbeziehung.

Es erscheint daher wichtig, als Teilaspekt dieses Problemkreises die Motorisierungsentwicklung in den Großstädten und Verdichtungsräumen über einen längeren Zeitraum hinweg zu analysieren und Tendenzen aufzuzeigen. Wegen des zu großen Aufwandes konnten in der vorliegenden Studie jedoch nicht die Verdichtungsräume als jeweils geschlossene räumliche Einheiten untersucht werden, so aufschlußreich dies sicher gewesen wäre. Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind daher die Großstädte der Bundesrepublik Deutschland mit Berlin (West) während des 15 jährigen Zeitraums zwischen 1960 und 1974. Diese Großstädte weisen eine Wohnbevölkerung von jeweils mindestens 100 000 Einwohnern auf. Im Untersuchungszeitraum stieg die Zahl der Großstädte von 52 im Jahre 1960 auf 61 im Jahre 1974.

Die Zahlenangaben, die der Untersuchung zugrunde liegen, entstammen amtlichen Statistiken des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden^{1) 2)} und des Kraftfahrt-Bundesamtes Flensburg³⁾. Für die Wohnbevölkerung wurde — mit Ausnahme der Jahre 1961 und 1970, in denen Volks- und Berufszählungen stattfanden — als Stichtag jeweils der 30. 6.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Joachim Westphal
Baudirektor im Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft und Verkehr
Friedrichswall 1
3000 Hannover 1

- 1) Statistisches Bundesamt Wiesbaden: Fachserie A: Bevölkerung und Kultur, Reihe 1: Gebiet und Bevölkerung, I. Bevölkerungsstand und -entwicklung 1960-1974. Stuttgart und Mainz 1961-1975.
- 2) Statistisches Bundesamt Wiesbaden: Fachserie A: Bevölkerung und Kultur, Reihe 1: Gebiet und Bevölkerung, III. Bevölkerung der kreisfreien Städte und Landkreise 1960-1974. Stuttgart und Mainz 1961-1975.
- 3) Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Juli 1960-1974. Bonn-Bad Godesberg 1961-1975.

eines Jahres gewählt. Der Bestand an Kraftfahrzeugen und der Bestand an Personenkraftwagen gelten jeweils für den 1.7. eines Jahres. Der Bestand an Personenkraftwagen schließt in der vorliegenden Arbeit stets die Kombinationskraftwagen ein.

Tabelle 1:

Entwicklung der Wohnbevölkerung/des Bestandes an Kraftfahrzeugen/des Bestandes an Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Laufende Nr.	Jahr	Wohnbevölkerung jeweils am 30.6. (Mio. E.)	Bestand jeweils am 1.7.	
			Kraftfahrzeuge (Mio. KFZ)	Personenkraftwagen (Mio. PKW)
1	2	3	4	5
1	1960	18,576	2,392	1,725
2	1961	18,800 ¹⁾	2,669	2,014
3	1962	18,948	2,966	2,334
4	1963	19,126	3,230	2,641
5	1964	19,403	3,507	2,954
6	1965	19,476	3,764	3,234
7	1966	19,474	4,040	3,525
8	1967	19,323	4,160	3,685
9	1968	19,249	4,300	3,836
10	1969	19,625	4,593	4,114
11	1970	19,541 ²⁾	5,007	4,510
12	1971	19,674	5,358	4,844
13	1972	19,577	5,557	5,039
14	1973	20,020	5,899	5,357
15	1974	20,264	6,053	5,496

¹⁾ am 6.6.1961 (Volkszählung)

²⁾ am 27.5.1970 (Volkszählung)

In Tabelle 1 sind die Daten Wohnbevölkerung, Bestand an Kraftfahrzeugen und Bestand an Personenkraftwagen jährlich für den Zeitraum 1960–1974 jeweils als Summenwerte für alle Großstädte der Bundesrepublik Deutschland mit Berlin (West) zusammen eingetragen.

Nach Tabelle 1 ist die gesamte Wohnbevölkerung in den Großstädten von 18,58 Mio. Einwohnern im Jahre 1960 auf 20,26 Mio. Einwohner im Jahre 1974 gewachsen, das entspricht einer Zunahme von 9,1%. Der gesamte Bestand an Kraftfahrzeugen in den Großstädten nahm dagegen von 2,39 Mio. Kraftfahrzeugen im Jahre 1960 auf 6,05 Mio. Kraftfahrzeuge im Jahre 1974 und damit um 153,1% zu. Noch stärker wuchs im selben Zeitraum der gesamte Bestand an Personenkraftwagen in den Großstädten: Er stieg von 1,73 Mio. Personenkraftwagen im Jahre 1960 um 218,6% auf 5,50 Mio. Personenkraftwagen im Jahre 1974.

Grundlage für die vorliegende Untersuchung waren die aus den Daten Wohnbevölke-

rung, Bestand an Kraftfahrzeugen und Bestand an Personenkraftwagen gebildeten Datensätze der Großstädte, die jährlich für den Zeitraum 1960–1974 zusammengestellt wurden. Dabei konnten die drei obengenannten Merkmale als Zufallsvariable aufgefaßt werden, so daß sie den Verfahren der mathematischen Statistik genügten.

Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wird das aus insgesamt 848 Datensätzen mit zusammen 2544 Einzeldaten bestehende Basismaterial für die vorliegende Untersuchung hier weder tabellarisch noch grafisch wiedergegeben.

Im Abschnitt 2. werden aus dem Basismaterial ursprüngliche stochastische Zusammenhänge zwischen den Variablen Wohnbevölkerung, Bestand an Kraftfahrzeugen und Bestand an Personenkraftwagen aufgezeigt und in geeigneter Form veranschaulicht. Die aus diesen ursprünglichen Zusammenhängen abgeleiteten Beziehungen werden im Abschnitt 3. entwickelt und grafisch dargestellt.

2. Ursprüngliche Beziehungen

Das jährlich zusammengefaßte Datenmaterial für die drei Variablen

- Wohnbevölkerung,
- Bestand an Kraftfahrzeugen,
- Bestand an Personenkraftwagen

ließ bereits anhand von Voruntersuchungen erkennen, daß deren stochastische Zusammenhänge sehr gut durch lineare Einfachkorrelationen zwischen jeweils zwei dieser Variablen beschrieben werden.

Die Fülle des Datenmaterials führte zum Einsatz einer EDV-Anlage. Mit Hilfe der Rechenprogramme KORRMA und MURADO wurden die Datensätze nach Jahrgängen zu Regressions- und Korrelationsanalysen verarbeitet.

Bei den Analysen wurde für den Zusammenhang zwischen den Variablen X und Y jeweils von folgenden Ansätzen der linearen Einfachkorrelation ausgegangen:

1. Regressionsgerade: $Y = A + B \cdot X$,
2. Regressionsgerade: $X = C + D \cdot Y$.

Während die 1. Regressionsgerade die Abhängigkeit der Variablen Y von der Variablen X beschreibt, gibt die 2. Regressionsgerade die Abhängigkeit der Variablen X von der Variablen Y wieder. Die Regressionskoeffizienten A, B, C und D wurden mit Hilfe des Rechenprogramms MURADO zahlenmäßig bestimmt. Die Straffheit des stochastischen Zusammenhangs zwischen den Variablen X und Y wird durch den Korrelationskoeffizienten R bzw. das Bestimmtheitsmaß $B = R^2$ gekennzeichnet. Während der Korrelationskoeffizient die Werte $-1 \leq R \leq +1$ annehmen kann, ergibt sich das Bestimmtheitsmaß zu $0 \leq B \leq 1$. Bei $R = -1$ oder $R = +1$ bzw. $B = 1$ stehen die Variablen X und Y in einem funktionalen Zusammenhang zueinander. Andernfalls ergeben sich aufgrund von Zufallseinflüssen stochastische Zusammenhänge zwischen den beiden Variablen. Bei Vorliegen einer stochastischen Abhängigkeit ($R \neq 0$ bzw. $B \neq 0$) bilden die beiden Regressionsgeraden einen Winkel, der mit wachsenden Werten für das Bestimmtheitsmaß kleiner wird. Bei funktionaler Abhängigkeit zwischen den Variablen X und Y fallen beide Regressionsgeraden zusammen.

Abbildung 1:

Bestand an Kraftfahrzeugen in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.

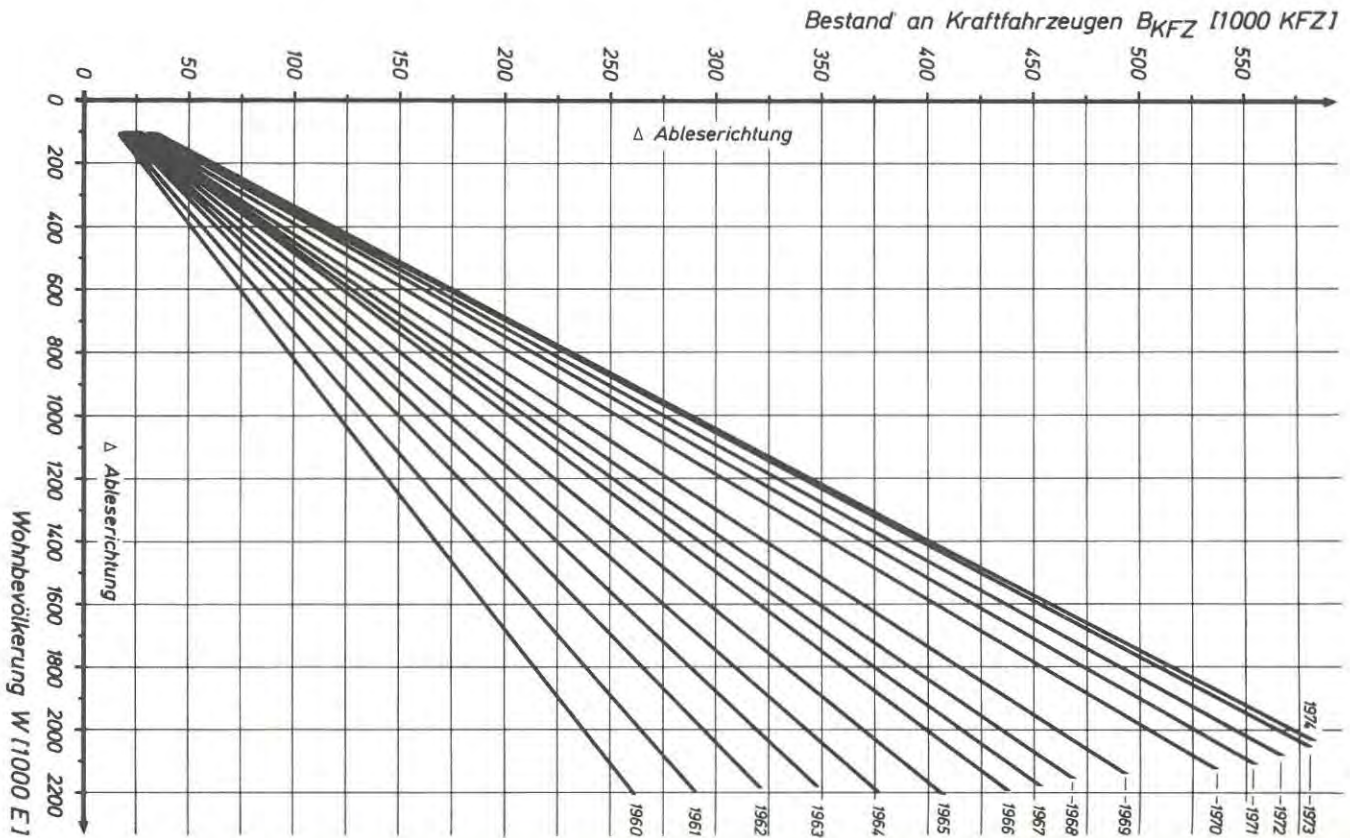
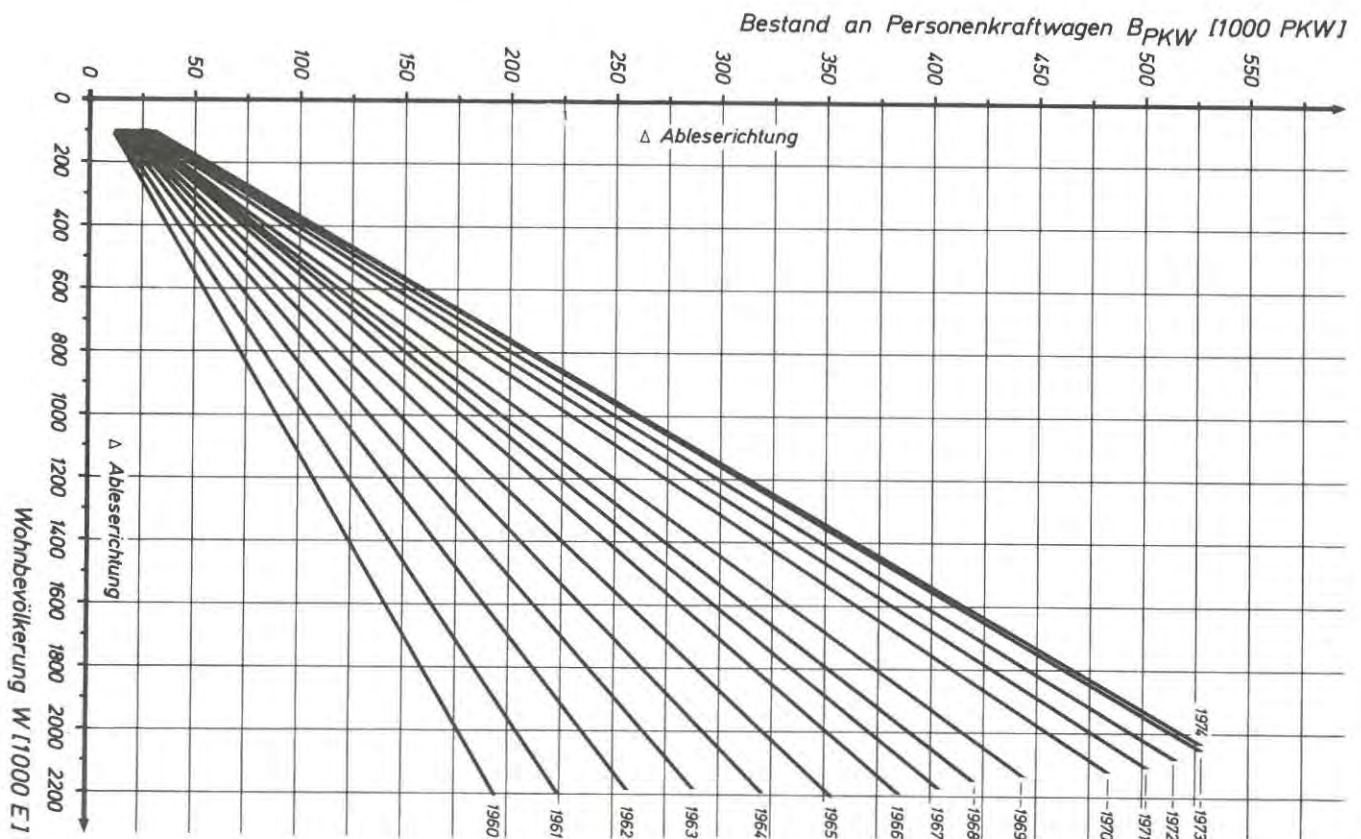


Abbildung 2:

Bestand an Personenkraftwagen in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.



Wegen der hier vorliegenden sehr straffen linearen Abhängigkeiten zwischen je zwei Variablen liegen die beiden Regressionsgeraden in allen Fällen so eng benachbart, daß in der grafischen Darstellung eine Unterscheidung nicht mehr möglich ist. Aus diesem Grunde sind in den Bildern 1, 2, 3 und 7 jeweils nur die 1. Regressionsgeraden mit den ihnen entsprechenden Ableserichtungen, nicht jedoch die 2. Regressionsgeraden dargestellt. Ebenfalls aus Gründen besserer Übersichtlichkeit wurden in sämtlichen Bildern die zu den ursprünglichen Regressionsgeraden bzw. den abgeleiteten Kurven gehörenden Punkthaufen weggelassen.

Mit Hilfe des Rechenprogramms MURADO wurde bei allen Korrelationsanalysen geprüft, ob der Korrelationskoeffizient R bei einer gewählten statistischen Sicherheit S = 95 % signifikant von Null abweicht und somit eine echte korrelative Abhängigkeit zwischen den beiden Variablen X und Y anzeigt.

2.1. Kraftfahrzeuge – Wohnbevölkerung

Bild 1 zeigt den Bestand an Kraftfahrzeugen in den Großstädten in Abhängigkeit von deren Wohnbevölkerung während des Zeitabschnitts 1960–1974. Für jedes Jahr ergibt

Tabelle 2:

Regressionsgleichungen und statistische Kennwerte für die linearen Beziehungen zwischen der Wohnbevölkerung und dem Bestand an Kraftfahrzeugen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Bild-Nr.	Laufende Nr.	Jahr	1. Regressionsgerade				2. Regressionsgerade ¹⁾				Zahl der Wertepaare N (I)	Bestimmtheitsmaß B (II)	Korrelationskoeffizient R (III)	T-Test nach Student		
			Regressionsgleichung $B_{KFZ} = A + B \cdot W$		Gültigkeitsbereich		Regressionsgleichung $W = C + D \cdot B_{KFZ}$		Gültigkeitsbereich					errechneter T-Wert T_{ERR} (I)	T-Tafelwert für S = 95 % T_{TAF} (I)	T-Tafelwert für S = 99 % T_{TAF} (II)
			A	B	min. W	max. W	C	D	min. B_{KFZ}	max. B_{KFZ}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	1960	4,21563	0,11696	107,200	2203,900	-4,55641	7,86562	9,262	237,495	52	0,91994	0,95913	23,969	2,009	2,678
	2	1961	4,01688	0,13067	100,200	2197,600	-2,30242	7,08833	10,176	265,771	53	0,92622	0,96240	25,303	2,008	2,676
	3	1962	4,04750	0,14522	100,600	2180,300	-1,02863	6,40645	11,584	298,108	53	0,93035	0,96454	26,100	2,008	2,676
	4	1963	3,85915	0,15799	100,400	2176,600	-1,96761	5,95393	12,544	321,861	54	0,94068	0,96989	28,717	2,007	2,674
	5	1964	3,68019	0,17013	100,600	2192,700	-2,10307	5,56591	13,436	346,048	56	0,94695	0,97311	31,047	2,005	2,670
	6	1965	3,43329	0,18339	100,900	2201,800	-2,28810	5,20844	14,472	372,005	56	0,95516	0,97732	33,917	2,005	2,670
	7	1966	3,17888	0,19829	101,400	2190,600	-1,72773	4,84478	15,557	402,174	56	0,96068	0,98014	36,324	2,005	2,670
	8	1967	2,90405	0,20687	101,600	2173,300	-1,11201	4,65990	16,021	415,091	56	0,96400	0,98184	38,029	2,005	2,670
	9	1968	2,32950	0,21661	101,000	2149,700	0,15919	4,47444	16,557	426,880	56	0,96921	0,98449	41,232	2,005	2,670
	10	1969	1,40242	0,22982	99,900	2135,100	1,42800	4,25446	17,889	443,771	59	0,97777	0,98882	50,071	2,003	2,665
	11	1970	1,62382	0,25151	100,100	2122,300	1,24117	3,88829	20,145	479,187	57	0,97796	0,98892	49,403	2,004	2,668
	12	1971	3,84304	0,26079	100,900	2105,300	-5,32160	3,73076	21,828	509,197	59	0,97296	0,98639	45,291	2,003	2,665
	13	1972	4,53946	0,27019	101,300	2080,000	-8,16113	3,60936	22,960	524,648	59	0,97522	0,98753	47,360	2,003	2,665
	14	1973	4,64807	0,28047	101,400	2052,700	-9,12069	3,48838	24,180	536,774	61	0,97839	0,98913	51,680	2,001	2,662
	15	1974	5,07938	0,28343	100,300	2032,600	-10,47709	3,45314	24,264	530,798	61	0,97874	0,98931	52,116	2,001	2,662

¹⁾ nicht dargestellt.

sich eine andere Regressionsgerade, wodurch der aus insgesamt 15 Geraden bestehende Fächer entsteht. Für ein bestimmtes Jahr nimmt der Bestand an Kraftfahrzeugen linear mit wachsender Wohnbevölkerung der Großstädte zu. Dieser Zuwachs wird mit steigenden Jahreszahlen größer, die in Bild 1 dargestellten Regressionsgeraden werden steiler. Der Einfluß wachsender Motorisierung zeigt sich deutlich darin, daß der Bestand an Kraftfahrzeugen bei konstanter Wohnbevölkerung erheblich zunimmt.

In Tabelle 2 sind die zu den in Bild 1 gezeichneten 1. Regressionsgeraden gehörenden Geradengleichungen sowie die statistischen Kennwerte zusammengestellt. Zwischen den beiden Variablen Wohnbevölkerung und Bestand an Kraftfahrzeugen bestehen straffe lineare Abhängigkeiten, weil das Bestimmtheitsmaß B Werte zwischen 0,92 und 0,98 annimmt (Tabelle 2, Spalte 13). Nach dem STUDENT-Test weichen sämtliche Korrelationskoeffizienten R gesichert von Null ab (Tabelle 2, Spalten 15–17).

2.2. Personenkraftwagen – Wohnbevölkerung

In Bild 2 ist der Bestand an Personenkraftwagen in den Großstädten in Abhängigkeit von deren Wohnbevölkerung im Zeitraum 1960–1974 dargestellt. Danach ergibt sich eine zu Bild 1 analoge Darstellung eines aus insgesamt 15 Geraden bestehenden Fächers. Für ein bestimmtes Jahr nimmt der Bestand an Personenkraftwagen geradlinig mit der Wohnbevölkerung zu. Die Neigung der Geraden wächst mit steigenden Jahreszahlen, der Zuwachs des Bestandes an Personenkraftwagen nimmt zu. Bei konstanter Wohnbevölkerung steigt der Bestand an Personenkraftwagen erheblich, was Ausdruck der zunehmenden Motorisierung ist.

Dimension der Variablen: Wohnbevölkerung W (1000 E) Bestand an Kraftfahrzeugen B_{KFZ} (1000 KFZ)

In Tabelle 3 sind die Geradengleichungen und statistischen Kennwerte zusammengefaßt, die den in Bild 2 dargestellten 1. Regressionsgeraden zugeordnet sind. Die beiden Variablen Wohnbevölkerung und Bestand an Personenkraftwagen hängen in sehr strenger Form linear voneinander ab: Das Bestimmtheitsmaß B erreicht Werte zwischen 0,91 und 0,98 (Tabelle 3, Spalte 13). Sämtliche Korrelationskoeffizienten unterscheiden sich nach dem STUDENT-Test signifikant von Null (Tabelle 3, Spalten 15–17).

2.3. Kraftfahrzeuge – Personenkraftwagen

Bild 3 zeigt die Abhängigkeit des Bestandes an Personenkraftwagen in den Großstädten von deren Bestand an Kraftfahrzeugen zwischen 1960 und 1974. Der gegenüber den Bildern 1 und 2 erheblich schmalere Geradenfächer kann aus Übersichtsgründen in Bild 3 nicht vollständig wiedergegeben werden, da die 15 Geraden zu eng benachbart sind. Nach Bild 3 steigt für ein bestimmtes Jahr der Bestand an Personenkraftwagen linear mit dem Bestand an Kraftfahrzeugen. Der Zuwachs wird mit steigender Jahreszahl größer, die Geraden neigen sich stärker. Bei festgehaltenem Bestand an Kraftfahrzeugen nimmt der Bestand an Personenkraftwagen zu.

Tabelle 3:

Regressionsgleichungen und statistische Kennwerte für die linearen Beziehungen zwischen der Wohnbevölkerung und dem Bestand an Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Bild-Nr.	Lau-fende Nr.	Jahr	1. Regressionsgerade				2. Regressionsgerade ¹⁾				Zahl der Wertepaare N 11	Bestimmtheitsmaß B 11	Korrelationskoeffizient R 11	T-Test nach Student			
			Regressionsgleichung $B_{PKW} = A + B \cdot W$		Gültigkeitsbereich		Regressionsgleichung $W = C + D \cdot B_{PKW}$		Gültigkeitsbereich					errechneter T-Wert T_{ERR} 11	T-Tafelwert für S = 95% T_{TAF} 11	T-Tafelwert für S = 99% T_{TAF} 11	
			A	B	min. W	max. W	C	D	min. B _{PKW}	max. B _{PKW}							
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
1	1	1960	1,98115	0,08733	107,200	2203,900	10,50627	10,45079	6,105	175,441	52	0,91263	0,95532	22,854	2,009	2,678	
	2	1961	2,11754	0,10115	100,200	2197,600	9,53102	9,08421	7,249	203,465	53	0,91890	0,95859	24,039	2,008	2,676	
	3	1962	2,35649	0,11659	100,600	2180,300	8,07988	7,93478	8,691	236,537	53	0,92510	0,96182	25,097	2,008	2,676	
	4	1963	2,38821	0,13132	100,400	2176,600	5,68933	7,12687	10,007	265,823	54	0,93588	0,96741	27,550	2,007	2,674	
	5	1964	2,39229	0,14532	100,600	2192,700	3,53968	6,50197	11,179	294,044	56	0,94489	0,97206	30,428	2,005	2,670	
	6	1965	2,26738	0,15953	100,900	2201,800	2,37890	5,98108	12,396	322,260	56	0,95417	0,97681	33,529	2,005	2,670	
	7	1966	2,09300	0,17496	101,400	2190,600	2,16127	5,49106	13,605	353,757	56	0,96074	0,98017	36,350	2,005	2,670	
	2	8	1967	1,97572	0,18496	101,600	2173,300	2,32855	5,20888	14,108	370,164	56	0,96343	0,98154	37,716	2,005	2,670
		9	1968	1,60124	0,19463	101,000	2149,700	2,83912	4,97645	14,720	382,823	56	0,96856	0,98415	40,786	2,005	2,670
		10	1969	0,84149	0,20712	99,900	2135,100	3,64563	4,71767	15,873	399,708	59	0,97711	0,98849	49,323	2,003	2,665
		11	1970	1,13687	0,22749	100,100	2122,300	2,84998	4,29664	18,545	433,079	57	0,97744	0,98865	48,813	2,004	2,668
		12	1971	3,17645	0,23671	100,900	2105,300	-3,99798	4,10991	20,178	461,331	59	0,97284	0,98633	45,185	2,003	2,665
		13	1972	3,87967	0,24571	101,300	2080,000	-7,19994	3,96921	21,293	476,495	59	0,97529	0,98757	47,431	2,003	2,665
		14	1973	4,08139	0,25514	101,400	2052,700	-8,54000	3,83451	22,495	488,175	61	0,97834	0,98911	51,618	2,001	2,662
		15	1974	4,56192	0,25748	100,300	2032,600	-10,35590	3,80214	22,620	481,719	61	0,97896	0,98942	52,395	2,001	2,662

¹⁾ nicht dargestellt.

Tabelle 4 enthält die zu den in Bild 3 eingetragenen 1. Regressionsgeraden gehörenden Geradengleichungen sowie die statistischen Kennwerte. Zwischen den Variablen Bestand an Kraftfahrzeugen und Bestand an Personenkraftwagen bestehen bei Bestimmtheitsmaßen $B \geq 0,999$ außerordentliche straffe lineare Beziehungen (Tabelle 4, Spalte 13). Alle Korrelationskoeffizienten sind aufgrund des STUDENT-Tests signifikant von Null verschieden (Tabelle 4, Spalten 15–17).

In Bild 4 sind die in Prozent angegebenen Bestimmtheitsmaße für die linearen Zusammenhänge zwischen je zwei der Variablen

- Wohnbevölkerung,
- Bestand an Kraftfahrzeugen,
- Bestand an Personenkraftwagen

für den Zeitraum 1960–1974 zusammenfassend grafisch dargestellt. Die Zahlenwerte der Bestimmtheitsmaße wurden den Tabellen 2–4 entnommen. Bei allen drei Variablenkombinationen nimmt die Straffheit des linearen Zusammenhangs und damit das lineare Bestimmtheitsmaß B mit steigenden Jahreszahlen zu. Allerdings sind seit etwa 1968 nur noch geringfügige Zunahmen der Bestimmtheitsmaße festzustellen. Dies gilt insbesondere für die stochastischen Beziehungen zwischen dem Bestand an Kraftfahrzeugen und dem Bestand an Personenkraftwagen (Bild 4, unterer Teil), die allerdings schon nahezu funktional sind.

Dimension der Variablen: Wohnbevölkerung W (1000 E.) Bestand an Personenkraftwagen B_{PKW} (1000 PKW)

Abbildung 3:

Bestand an Personenkraftwagen in Abhängigkeit vom Bestand an Kraftfahrzeugen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.

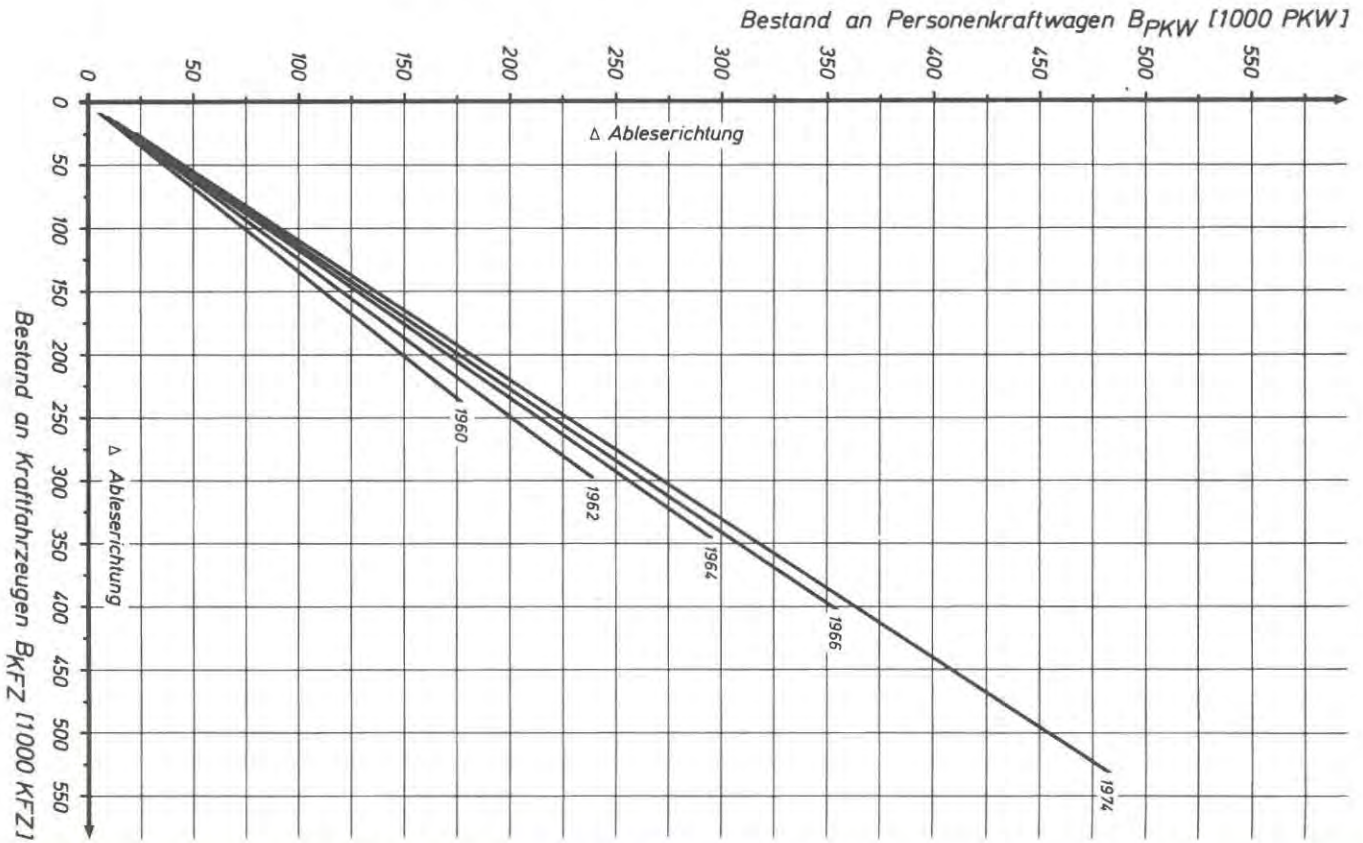
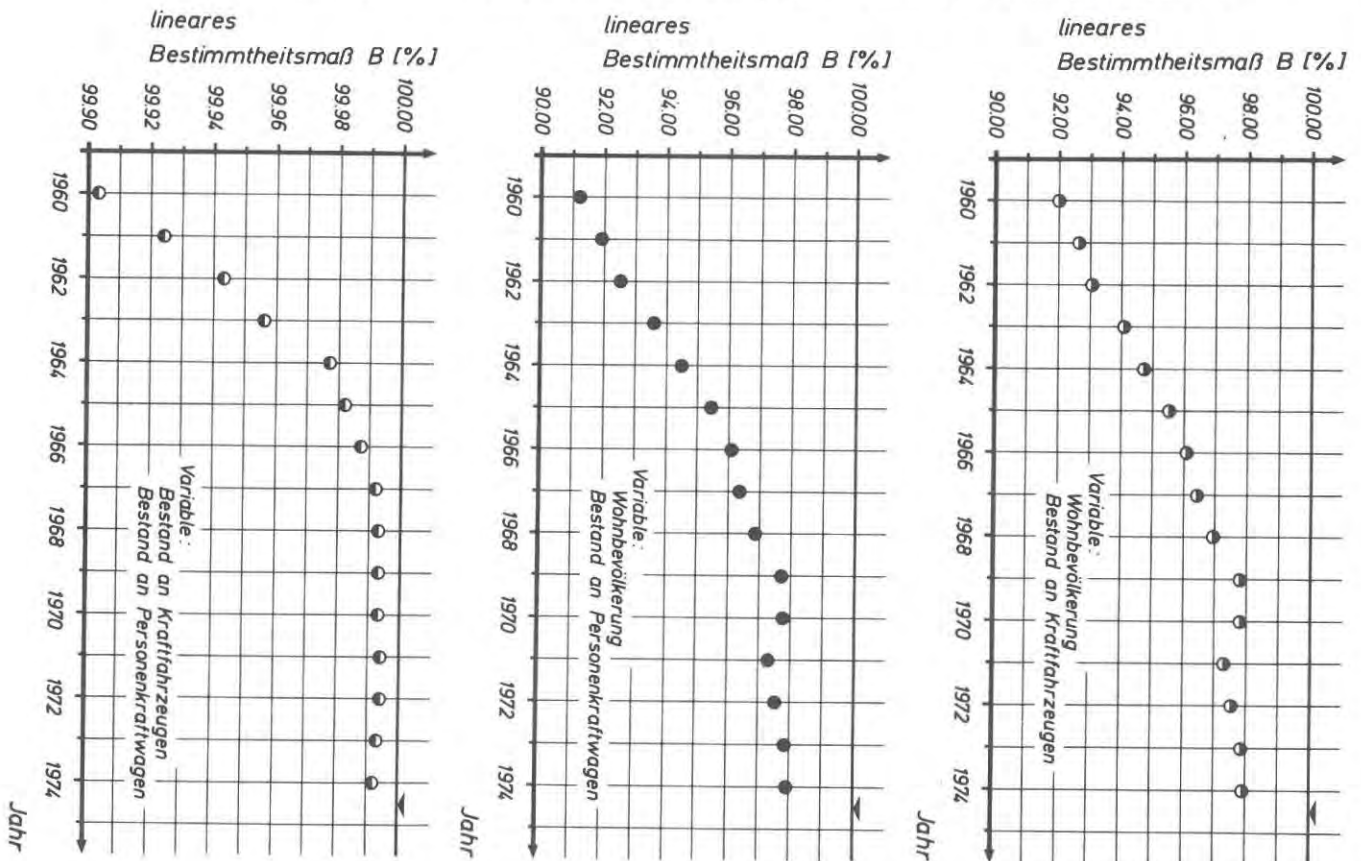


Abbildung 4:

Bestimmtheitsmaße für die linearen Beziehungen zwischen der Wohnbevölkerung und dem Bestand an Kraftfahrzeugen, der Wohnbevölkerung und dem Bestand an Personenkraftwagen, dem Bestand an Kraftfahrzeugen und dem Bestand an Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.



3. Abgeleitete Beziehungen

Im Abschnitt 2. wurden die ursprünglichen Beziehungen zwischen den drei Variablen

- Wohnbevölkerung,
- Bestand an Kraftfahrzeugen,
- Bestand an Personenkraftwagen

mit Hilfe der mathematischen Statistik quantifiziert. Die Ergebnisse waren lineare Einfachkorrelationen, deren 1. Regressionsgeraden in den Bildern 1, 2 und 3 veranschaulicht sind.

Im vorliegenden Abschnitt werden aus diesen ursprünglichen linearen Beziehungen abgeleitete nichtlineare Beziehungen für die Variablen

- Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge,
- Motorisierungsgrad Personenkraftwagen,
- Personenkraftwagen-Anteil

Tabelle 4:

Regressionsgleichungen und statistische Kennwerte für die linearen Beziehungen zwischen dem Bestand an Kraftfahrzeugen und dem Bestand an Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960-1974

Bild-Nr.	Laufende Nr.	Jahr	1. Regressionsgerade				2. Regressionsgerade ¹⁾				Zahl der Wertepaare N (I)	Bestimmtheitsmaß B (I)	Korrelationskoeffizient R (I)	T-Test nach Student		
			Regressionsgleichung $B_{PKW} = A + B \cdot B_{KFZ}$		Gültigkeitsbereich		Regressionsgleichung $B_{KFZ} = C + D \cdot B_{PKW}$		Gültigkeitsbereich					errechneter T-Wert T_{ERR} (I)	T-Tafelwert für S = 95% T_{TAF} (I)	T-Tafelwert für S = 99% T_{TAF} (I)
			A	B	min. B_{KFZ}	max. B_{KFZ}	C	D	min. B_{PKW}	max. B_{PKW}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	1960	-1,28687	0,74928	9,262	237,495	1,76050	1,33333	8,105	175,441	52	0,99903	0,99951	226,750	2,009	2,678
	2	1961	-1,13223	0,77691	10,176	265,771	1,49433	1,28618	7,249	203,465	53	0,99924	0,99962	259,623	2,008	2,676
	3	1962	-1,00745	0,80488	11,584	298,108	1,28281	1,24172	8,691	236,537	53	0,99943	0,99972	299,346	2,008	2,676
	4	1963	-0,93567	0,83312	12,544	321,861	1,14920	1,19977	10,007	265,823	54	0,99956	0,99978	341,799	2,007	2,674
	5	1964	-0,80326	0,85500	13,436	346,048	0,95388	1,16931	11,179	294,044	56	0,99977	0,99988	481,056	2,005	2,670
	6	1965	-0,74454	0,87029	14,472	372,005	0,86740	1,14884	12,396	322,260	56	0,99982	0,99991	549,681	2,005	2,670
	7	1966	-0,70588	0,88227	15,557	402,174	0,80944	1,13329	13,605	353,757	56	0,99987	0,99993	641,716	2,005	2,670
	8	1967	-0,63807	0,89430	16,021	415,091	0,71912	1,11810	14,108	370,164	56	0,99992	0,99996	843,093	2,005	2,670
3	9	1968	-0,51288	0,89879	16,557	426,880	0,57569	1,11254	14,720	382,823	56	0,99993	0,99997	909,936	2,005	2,670
	10	1969	-0,44388	0,90148	17,889	443,771	0,49761	1,10922	15,873	399,708	59	0,99993	0,99997	924,905	2,003	2,665
	11	1970	-0,35045	0,90469	20,145	479,187	0,39332	1,10528	16,545	433,079	57	0,99993	0,99997	904,312	2,004	2,668
	12	1971	-0,31443	0,90767	21,828	509,197	0,35173	1,10166	17,178	461,331	59	0,99994	0,99997	985,970	2,003	2,665
	13	1972	-0,24270	0,90935	22,960	524,648	0,27265	1,09963	17,293	476,495	59	0,99994	0,99997	969,707	2,003	2,665
	14	1973	-0,14624	0,90968	24,180	536,774	0,16720	1,09922	17,495	488,175	61	0,99993	0,99997	947,001	2,001	2,662
	15	1974	-0,03858	0,90828	24,264	530,798	0,05013	1,10090	17,620	481,719	61	0,99992	0,99996	875,826	2,001	2,662

¹⁾ nicht dargestellt.

entwickelt und in den Bildern 5, 8, 9 und 12 grafisch dargestellt. Die aus den 1. Regressionsgeraden in den Bildern 1, 2 und 3 hergeleiteten Kurven folgen Funktionen des gebrochen rationalen Typs

$$Y = \frac{A + B \cdot X}{C + D \cdot X}$$

und besitzen Asymptoten. Wegen der besseren Übersichtlichkeit sind diese Asymptoten in den Bildern 5, 8, 9 und 12 jedoch nicht eingetragen. Die Ableserichtungen für die abgeleiteten Kurven ergeben sich aus den analogen Ableserichtungen der zugehörigen 1. Regressionsgeraden in den Bildern 1, 2 und 3.

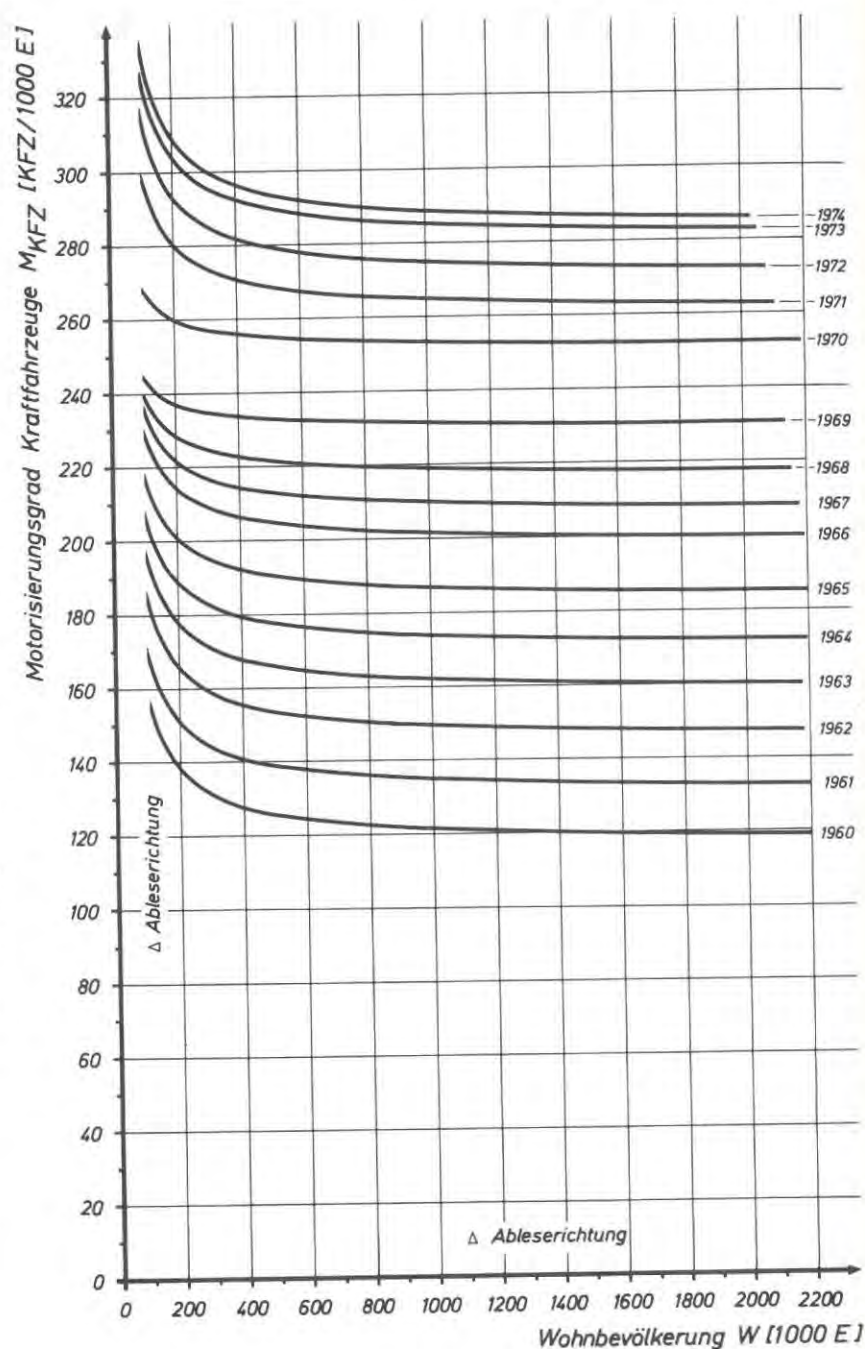
3.1. Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge - Wohnbevölkerung

Unter dem Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge wird die Zahl der Kraftfahrzeuge je 1000 Einwohner verstanden. In Bild 5 ist der Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge in den Großstädten in Abhängigkeit von deren Wohnbevölkerung für den Zeitraum 1960-1974 aufgetragen. Die Kurven in Bild 5 wurden aus den 1. Regressionsgeraden in Bild 1 abgeleitet.

Nach Bild 5 bestehen zwischen der Wohnbevölkerung einerseits und dem Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge andererseits nichtlineare Abhängigkeiten. Für ein bestimmtes Jahr nimmt der Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge mit wachsender Wohnbevölkerung zunächst steil, dann flacher werdend ab und nähert sich einer - aus Gründen besserer Übersichtlichkeit nicht gezeichneten - Asymptote. Kleine Großstädte sind folglich

Dimensionen der Variablen: Bestand an Kraftfahrzeugen B_{KFZ} (1000 KFZ), Bestand an Personenkraftwagen B_{PKW} (1000 PKW)

Abbildung 5:
Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.



stärker mit Kraftfahrzeugen motorisiert als Großstädte mit einer großen Wohnbevölkerung. Diese Erscheinung, die vermutlich auf die mit der Wohnbevölkerung wachsende Überalterung der Großstädte zurückgeht, ist in allen untersuchten Jahren zwischen 1960 und 1974 zu beobachten.

Die in Bild 5 dargestellte Kurvenschar des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge ist dadurch gekennzeichnet, daß die Kurven mit steigenden Jahreszahlen nach oben verschoben werden: Die Stärke der Motorisierung Kraftfahrzeuge nimmt zu.

Tabelle 5:

Gleichungen und Gültigkeitsbereiche für die nichtlinearen Beziehungen zwischen der Wohnbevölkerung und dem Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Bild-Nr.	Laufende Nr.	Jahr	Gleichung $M_{KFZ} = \frac{A + B \cdot W}{0,001 \cdot W}$		Gültigkeitsbereich		Asymptote A_{MKFZ} (KFZ/1000 E.)
			A	B	min. W	max. W	
1	2	3	4	5	6	7	8
	1	1960	4,21563	0,11696	107,200	2203,900	116,96
	2	1961	4,01688	0,13067	100,200	2197,600	130,67
	3	1962	4,04750	0,14522	100,600	2180,300	145,22
	4	1963	3,85915	0,15799	100,400	2176,600	157,99
	5	1964	3,68019	0,17013	100,600	2192,700	170,13
	6	1965	3,43329	0,18339	100,900	2201,800	183,39
	7	1966	3,17888	0,19829	101,400	2190,600	198,29
	8	1967	2,90405	0,20687	101,600	2173,300	206,87
	9	1968	2,32950	0,21661	101,000	2149,700	216,61
	10	1969	1,40242	0,22982	99,900	2135,100	229,82
	11	1970	1,62382	0,25151	100,100	2122,300	251,51
	12	1971	3,84304	0,26079	100,900	2105,300	260,79
	13	1972	4,53946	0,27019	101,300	2080,000	270,19
	14	1973	4,64807	0,28047	101,400	2052,700	280,47
15	1974	5,07938	0,28343	100,300	2032,600	283,43	

Dimensionen der Variablen: Wohnbevölkerung W [1000 E.]
Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge M_{KFZ} [KFZ/1000 E.]

Tabelle 5 umfaßt die Gleichungen für die in Bild 5 aufgetragenen Kurven des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge, deren Gültigkeitsbereiche sowie Asymptotenwerte.

Bild 6 zeigt u. a. die Asymptoten des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge, die in Tabelle 5 zahlenmäßig genannt sind, jährlich in grafischer Darstellung. Danach stieg dieser Asymptotenwert von 117 KFZ/1000 E im Jahre 1960 etwa linear auf 283 KFZ/1000 E im Jahre 1974.

Im oberen Teil von Bild 7 ist die Asymptote des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge in Abhängigkeit vom gesamten Bestand an Kraftfahrzeugen in allen Großstädten zusam-

Abbildung 6:

Asymptote des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge/Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.

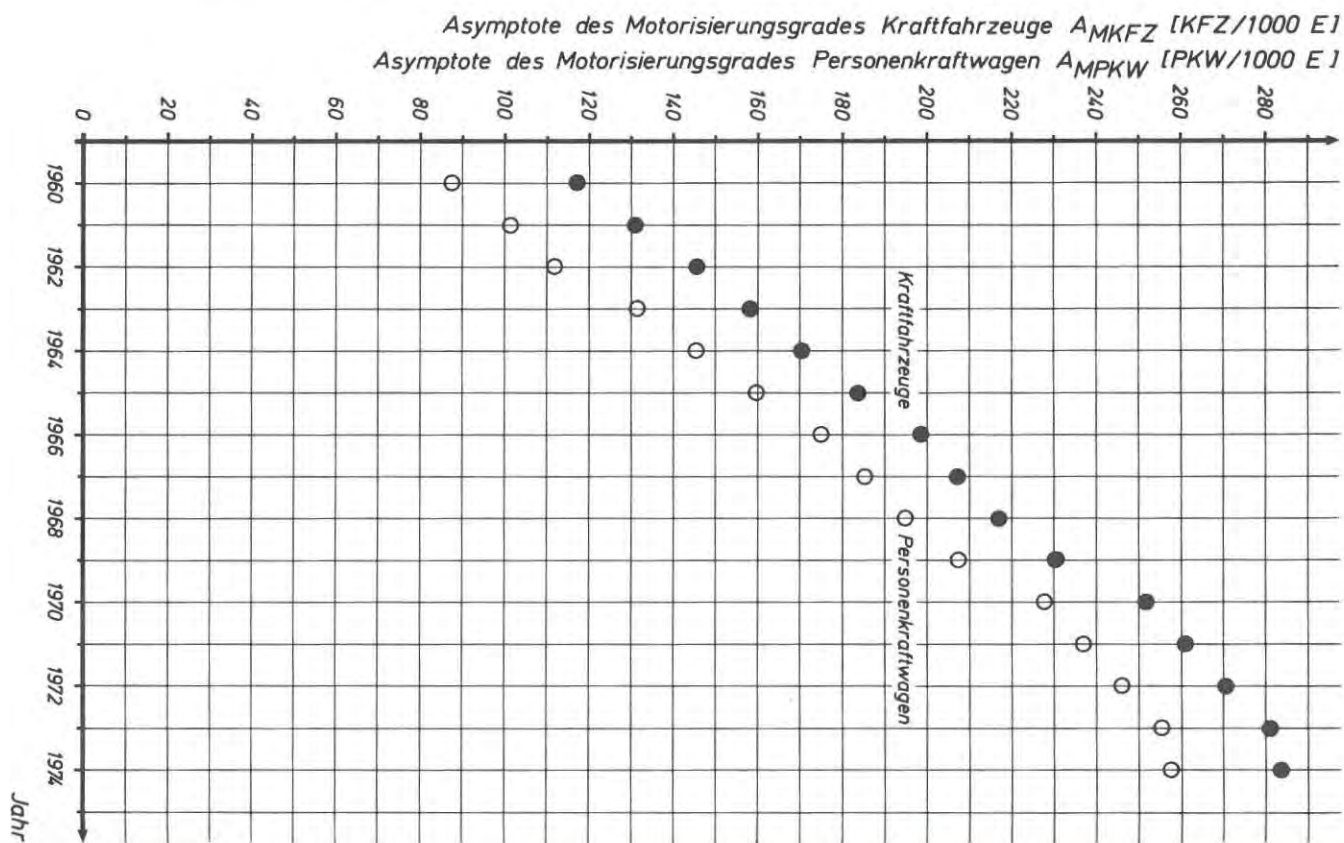
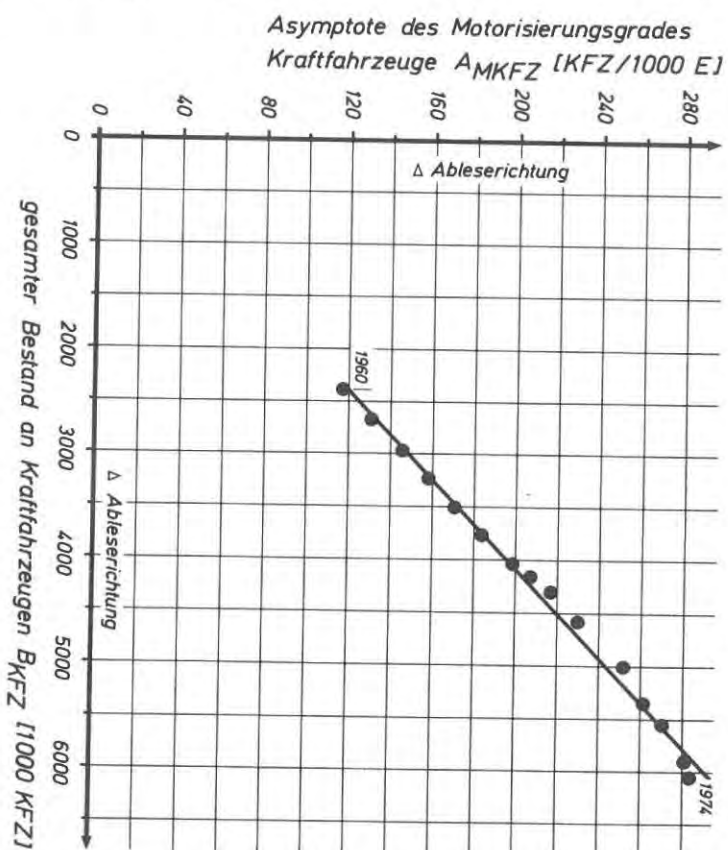
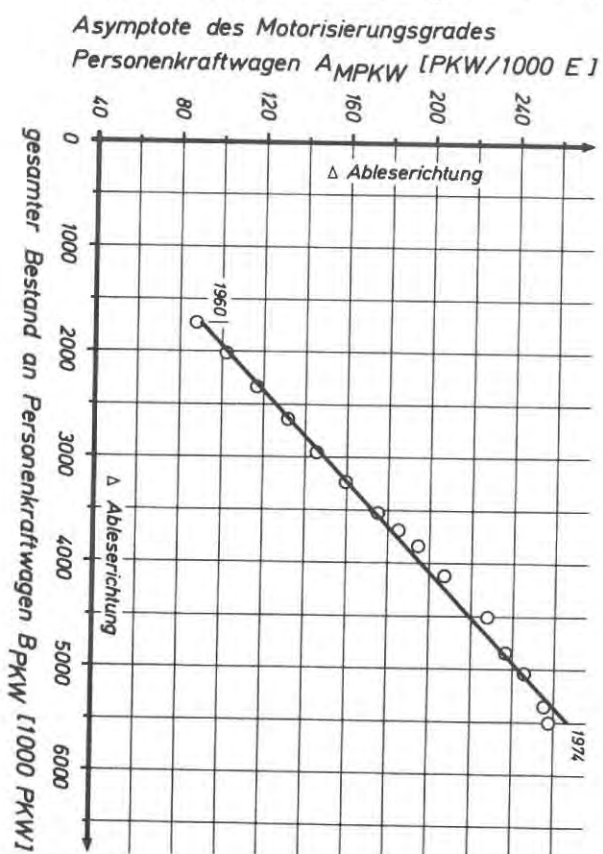


Abbildung 7:

Asymptote des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge/Personenkraftwagen in Abhängigkeit vom gesamten Bestand an Kraftfahrzeugen/Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.



men dargestellt. Aus der Form des Punkthaufens folgte unmittelbar die Berechtigung, für den Ausgleich einen linearen Ansatz zu wählen. Die lineare Einfachkorrelation führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Regressionsgerade: Asymptote des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge:

$$A_{MKFZ} = 6,86746 + 0,04724 \cdot B_{KFZ}$$
 Gültigkeitsbereich:

$$2392 \leq B_{KFZ} \leq 6053$$
2. Regressionsgerade: gesamter Bestand an Kraftfahrzeugen:

$$B_{KFZ} = -114,83583 + 21,02205 \cdot A_{MKFZ}$$
 Gültigkeitsbereich:

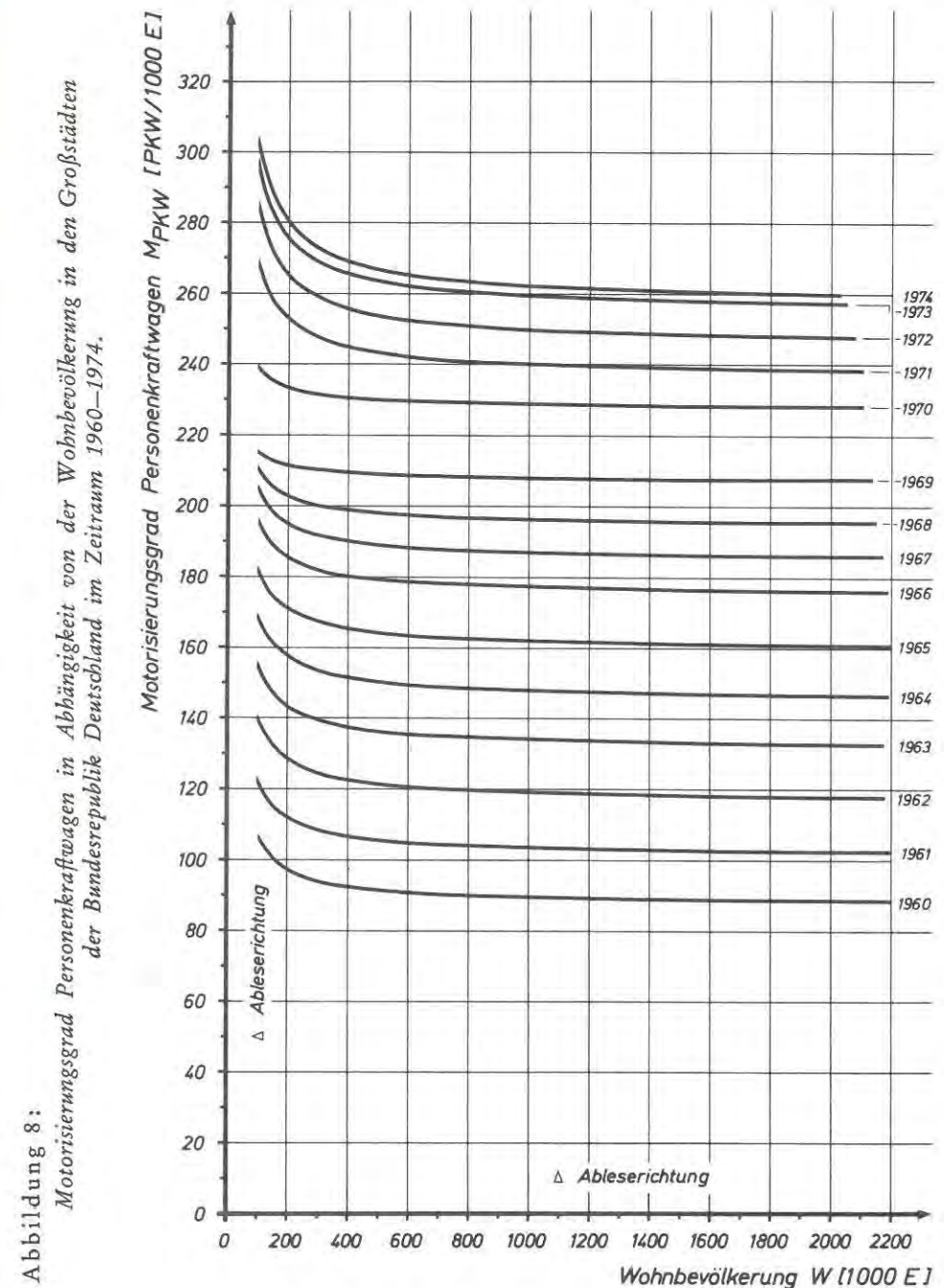
$$116,96 \leq A_{MKFZ} \leq 283,43$$
 Zahl der Wertepaare: $N = 15$
 Bestimmtheitsmaß: $B = 0,99302$
 Korrelationskoeffizient: $R = 0,99651$
 errechneter T-Wert: $T_{ERR} = 30,489$
 T-Tafelwert für $S = 95\%$: $T_{95\%} = 2,160$
 T-Tafelwert für $S = 99\%$: $T_{99\%} = 3,012$
 Dimensionen der Variablen:
 B_{KFZ} [1000 KFZ]
 A_{MKFZ} [KFZ/1000 E].

Der Korrelationskoeffizient weicht aufgrund des T-Tests nach STUDENT gesichert von Null ab. Der hohe Wert des Bestimmtheitsmaßes ($B = 0,99$) zeigt nahezu funktionale lineare Beziehungen zwischen dem gesamten Bestand an Kraftfahrzeugen in allen Großstädten zusammen und der Asymptote des Motorisierungsgrades Kraftfahrzeuge an.

3.2. Motorisierungsgrad Personenkraftwagen – Wohnbevölkerung

Analog zu dem im Abschnitt 3.1. behandelten Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge wird unter dem Motorisierungsgrad Personenkraftwagen die auf je 1000 Einwohner bezogene Zahl der Personenkraftwagen verstanden. Da es stets weniger Personenkraftwagen als Kraftfahrzeuge gibt, muß der Motorisierungsgrad Personenkraftwagen unter dem Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge liegen. Bild 8 zeigt den Motorisierungsgrad Personenkraftwagen in den Großstädten in Abhängigkeit von deren Wohnbevölkerung im Zeitabschnitt 1960–1974. Die in Bild 8 gezeichneten 15 Kurven des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen wurden aus den entsprechenden 1. Regressionsgeraden in Bild 2 entwickelt. Die Kurvenschar des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen in Bild 8 zeigt – auf niedrigerem Niveau – einen ähnlichen Verlauf wie die Kurvenschar in Bild 5, die den Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge beschreibt.

Bild 8 stellt die nichtlineare Abhängigkeit des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen von der Wohnbevölkerung dar. Bei Betrachtung eines vorgegebenen Jahres sinkt der Motorisierungsgrad Personenkraftwagen mit wachsender Wohnbevölkerung zunächst verhältnismäßig rasch. Danach ist die Abnahme nur noch geringfügig, die Kurve nähert sich einer in Bild 8 nicht eingezeichneten Asymptote. Wie beim Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge dürfte dies auch beim Motorisierungsgrad Personenkraftwagen auf die mit wachsender Wohnbevölkerung der Großstädte zunehmende Überalterung zurückzuführen sein. Kleine Großstädte sind also auch bezüglich der Personenkraftwagen stärker motorisiert als Großstädte mit einer großen Wohnbevölkerung.



Nach Bild 8 nimmt die Motorisierung Personenkraftwagen mit steigenden Jahreszahlen zu: Die Kurven werden analog zu den Kurven für den Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge (Bild 5) nach oben verschoben.

Tabelle 6:

Gleichungen und Gültigkeitsbereiche für die nichtlinearen Beziehungen zwischen der Wohnbevölkerung und dem Motorisierungsgrad Personenkraftwagen in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Bild-Nr.	Laufende Nr.	Jahr	Gleichung		Gültigkeitsbereich		Asymptote A_{MPKW} [PKW/1000 E.]
			$M_{PKW} = \frac{A + B \cdot W}{0,001 \cdot W}$		min. W	max. W	
1	2	3	4	5	6	7	8
	1	1960	1,98115	0,08733	107,200	2203,900	87,33
	2	1961	2,11754	0,10115	100,200	2197,600	101,15
	3	1962	2,35649	0,11659	100,600	2180,300	116,59
	4	1963	2,38821	0,13132	100,400	2176,600	131,32
	5	1964	2,39229	0,14532	100,600	2192,700	145,32
	6	1965	2,26738	0,15953	100,900	2201,800	159,53
	7	1966	2,09300	0,17496	101,400	2190,600	174,96
B	8	1967	1,97572	0,18496	101,600	2173,300	184,96
	9	1968	1,60124	0,19463	101,000	2149,700	194,63
	10	1969	0,84149	0,20712	99,900	2135,100	207,12
	11	1970	1,13687	0,22749	100,100	2122,300	227,49
	12	1971	3,17645	0,23671	100,900	2105,300	236,71
	13	1972	3,87967	0,24571	101,300	2080,000	245,71
	14	1973	4,08139	0,25514	101,400	2052,700	255,14
	15	1974	4,56192	0,25748	100,300	2032,600	257,48

Dimensionen der Variablen: Wohnbevölkerung W [1000 E.]
Motorisierungsgrad Personenkraftwagen M_{PKW} [PKW/1000 E.]

Aus Tabelle 6 sind die zu den Kurven des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen (Bild 8) gehörenden Gleichungen, Gültigkeitsbereiche sowie Asymptotenwerte zu sehen.

In Bild 6 sind auch die in Tabelle 6 quantifizierten Asymptotenwerte für den Motorisierungsgrad Personenkraftwagen im Zeitraum 1960–1974 aufgetragen. Danach nahm dieser Asymptotenwert von 87 PKW/1000 E im Jahre 1960 etwa linear auf 257 PKW/1000 E im Jahre 1974 zu.

Der untere Teil des Bildes 7 zeigt die lineare Abhängigkeit der Asymptote des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen vom gesamten Bestand an Personenkraftwagen in allen Großstädten zusammen. Wie im oberen Teil von Bild 7 ist auch hier ein linearer Ausgleich des langgestreckten Punkthaufens sinnvoll. Die Ergebnisse der linearen Einfachkorrelation lauten:

1. Regressionsgerade: Asymptote des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen:
Gültigkeitsbereich: $A_{MPKW} = 8,81976 + 0,04689 \cdot B_{PKW}$
 $1725 \leq B_{PKW} \leq 5496$
2. Regressionsgerade: gesamter Bestand an Personenkraftwagen:
Gültigkeitsbereich: $B_{PKW} = -166,32347 + 21,20863 \cdot A_{MPKW}$
 $87,33 \leq A_{MPKW} \leq 257,48$
Zahl der Wertepaare: N = 15
Bestimmtheitsmaß: B = 0,99438
Korrelationskoeffizient: R = 0,99718
errechneter T-Wert: $T_{ERR} = 33,924$
T-Tafelwert für S = 95 %: $T_{95\%} = 2,160$
T-Tafelwert für S = 99 %: $T_{99\%} = 3,012$
Dimensionen der Variablen: B_{PKW} [1000 PKW]
 A_{MPKW} [PKW/1000 E].

Aufgrund des STUDENT-Tests ist der Korrelationskoeffizient signifikant von Null verschieden. Das Bestimmtheitsmaß erreicht einen Wert von $B = 0,99$. Zwischen dem gesamten Bestand an Personenkraftwagen in allen Großstädten zusammen und der Asymptote des Motorisierungsgrades Personenkraftwagen besteht daher eine fast funktionale lineare Beziehung.

3.3. Personenkraftwagen-Anteil – Kraftfahrzeuge/Wohnbevölkerung

In diesem Abschnitt soll der Anteil der Personenkraftwagen an den Kraftfahrzeugen untersucht und damit der Strukturwandel in der Zusammensetzung des Bestandes an Kraftfahrzeugen aufgezeigt werden. Der Personenkraftwagen-Anteil wird zum einen in Abhängigkeit vom Bestand an Kraftfahrzeugen, zum anderen in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung dargestellt.

Bild 9 zeigt den Personenkraftwagen-Anteil in den Großstädten in Abhängigkeit von deren Bestand an Kraftfahrzeugen. Die Kurven wurden aus den in Bild 3 teilweise dargestellten 1. Regressionsgeraden abgeleitet, welche die Abhängigkeit des Bestandes an Personenkraftwagen vom Bestand an Kraftfahrzeugen beschreiben. Nach Bild 9 bestehen zwischen dem Personenkraftwagen-Anteil und dem Bestand an Kraftfahrzeugen nichtlineare Beziehungen. Für ein bestimmtes Jahr steigt der Personenkraftwagen-Anteil zunächst an, danach nimmt er nur noch geringfügig zu und nähert sich einer – aus Übersichtsgründen nicht eingetragenen – Asymptote. Aus Bild 9 ist zu sehen, daß sich die Kurven im Verlauf der Jahre seit 1960 nach oben verschoben haben, d. h. der Personenkraftwagen-Anteil ist gewachsen. Allerdings wird die Verschiebung immer geringer, die Abstände der Kurven verkleinern sich. Etwa seit 1970 hat sich der Personenkraftwagen-Anteil kaum noch erhöht. Außerdem fällt auf, daß sich der Personenkraftwagen-Anteil in Großstädten mit kleinem und großem Bestand an Kraftfahrzeugen zunehmend einander angeglichen hat: Die für 1974 gültige Kurve ist einer Waagerechten sehr ähnlich, während die Kurve für 1960 erheblich unterschiedliche Personenkraftwagen-Anteile für Großstädte verschiedener Größe ausweist.

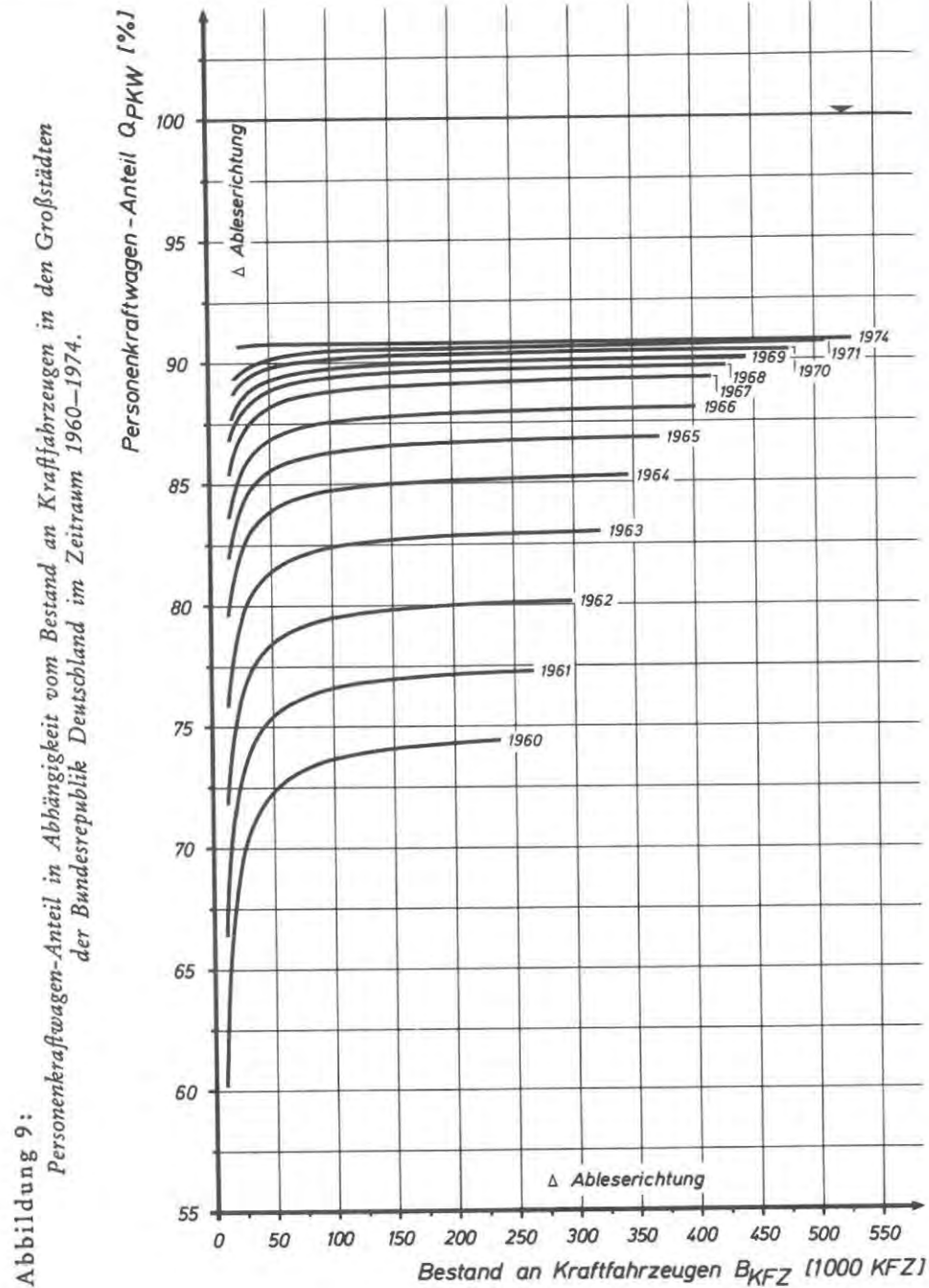


Tabelle 7:

Gleichungen und Gültigkeitsbereiche für die nichtlinearen Beziehungen zwischen dem Bestand an Kraftfahrzeugen und dem Personenkraftwagen-Anteil in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Bild-Nr.	Laufende Nr.	Jahr	Gleichung		Gültigkeitsbereich		Asymptote A_{QPKW} [%]
			$Q_{PKW} = \frac{A + B \cdot B_{KFZ}}{0,01 \cdot B_{KFZ}}$		min. B_{KFZ}	max. B_{KFZ}	
1	2	3	4	5	6	7	8
9	1	1960	-1,28687	0,74928	9,262	237,495	74,93
	2	1961	-1,13223	0,77691	10,176	265,771	77,69
	3	1962	-1,00745	0,80488	11,584	298,108	80,49
	4	1963	-0,93567	0,83312	12,544	321,861	83,31
	5	1964	-0,80326	0,85500	13,436	346,048	85,50
	6	1965	-0,74454	0,87029	14,472	372,005	87,03
	7	1966	-0,70588	0,88227	15,557	402,174	88,23
	8	1967	-0,63807	0,89430	16,021	415,091	89,43
	9	1968	-0,51288	0,89879	16,557	426,880	89,88
	10	1969	-0,44388	0,90148	17,889	443,771	90,15
	11	1970	-0,35045	0,90469	20,145	479,187	90,47
	12	1971	-0,31443	0,90767	21,828	509,197	90,77
	13	1972	-0,24270	0,90935	22,960	524,648	90,94
	14	1973	-0,14624	0,90968	24,180	536,774	90,97
	15	1974	-0,03858	0,90828	24,264	530,798	90,83

Dimensionen der Variablen: Bestand an Kraftfahrzeugen B_{KFZ} (1000 KFZ)
Personenkraftwagen-Anteil Q_{PKW} [%]

In Tabelle 7 sind sowohl die Gleichungen der in Bild 9 aufgetragenen Kurven als auch deren Gültigkeitsbereiche und Asymptotenwerte zusammengestellt.

Der obere Teil des Bildes 10 zeigt die in Tabelle 7 zahlenmäßig genannten Asymptotenwerte für den Personenkraftwagen-Anteil im Zeitraum 1960–1974. Danach nahmen die Asymptotenwerte seit 1960 zunächst etwa linear, ab 1964 jedoch in zunehmend geringerem Maße zu. In den letzten Jahren seit etwa 1971 ist praktisch keine Zunahme des Asymptotenwertes mehr festzustellen.

Im oberen Teil des Bildes 11 ist die Asymptote des Personenkraftwagen-Anteils in den Großstädten in Abhängigkeit von deren gesamtem Bestand an Kraftfahrzeugen dargestellt. Die Form des Punkthaufens führte zum Ansatz einer Ausgleichsfunktion, die sich einen vorgegebenen konstanten Asymptotenwert nähert. Hier wurde eine Funktion des Typs

$$Y = A + B \cdot C^x$$

gewählt, die sich bei $B < 0$ und $C > 0$ der Konstante (Asymptote) A von unten nähert. Diese innerhalb sinnvoller Grenzen frei wählbare Konstante A wurde hier anhand des vorliegenden Punkthaufens zwischen 100% und 91% variiert. Die mit EDV-

Abbildung 10:

Asymptote des Personenkraftwagen-Anteils als Funktion des Bestandes an Kraftfahrzeugen/der Wohnbevölkerung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.

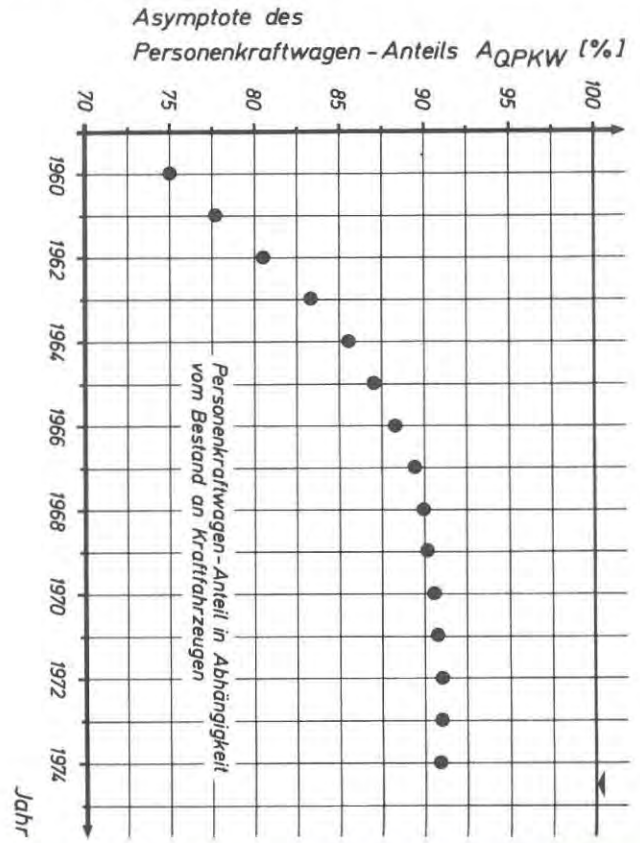
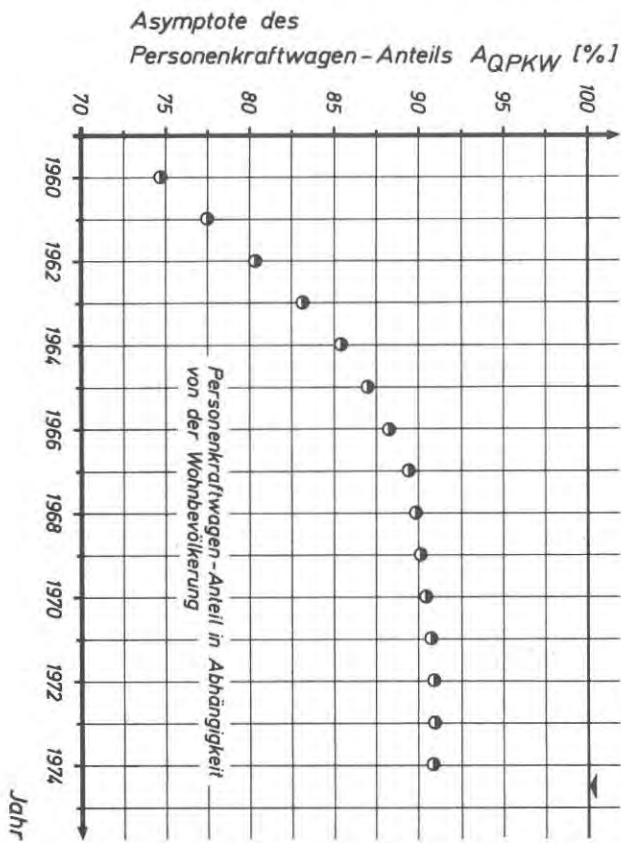
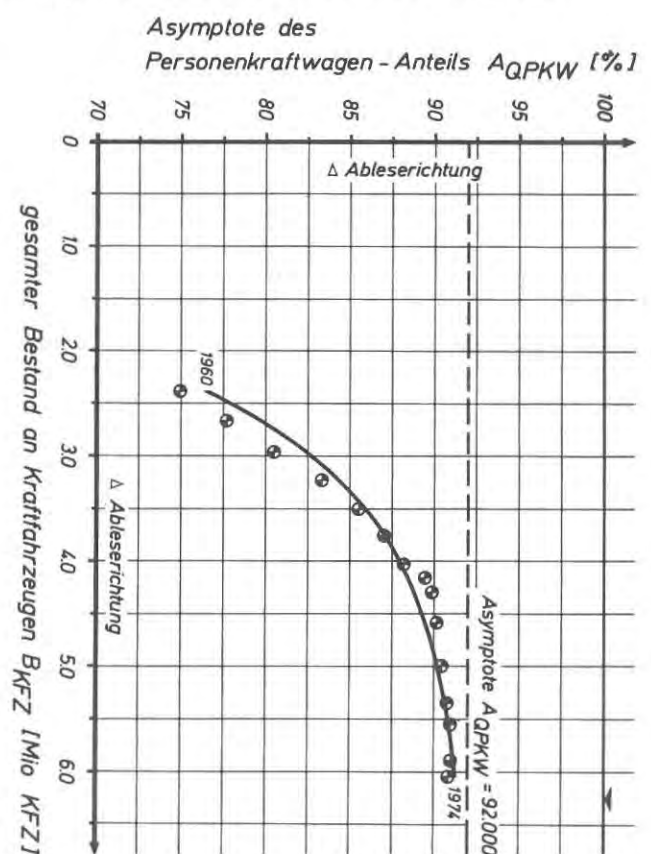
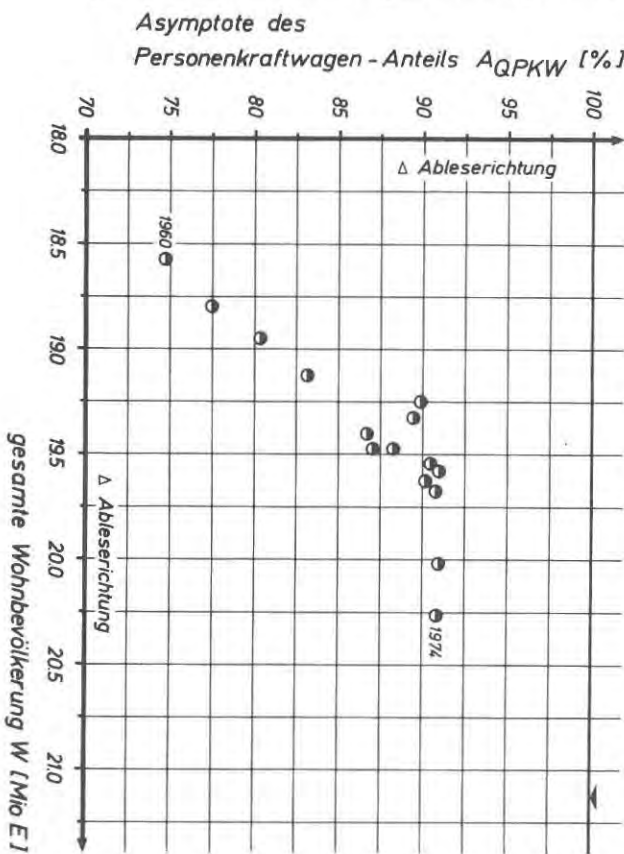


Abbildung 11:

Asymptote des Personenkraftwagen-Anteils in Abhängigkeit vom gesamten Bestand an Kraftfahrzeugen/von der gesamten Wohnbevölkerung in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974.



Hilfe durchgeführte Anpassung der Funktionen mit den verschiedenen A-Werten an den Punkthaufen ergab folgende Bestimmtheitsmaße:

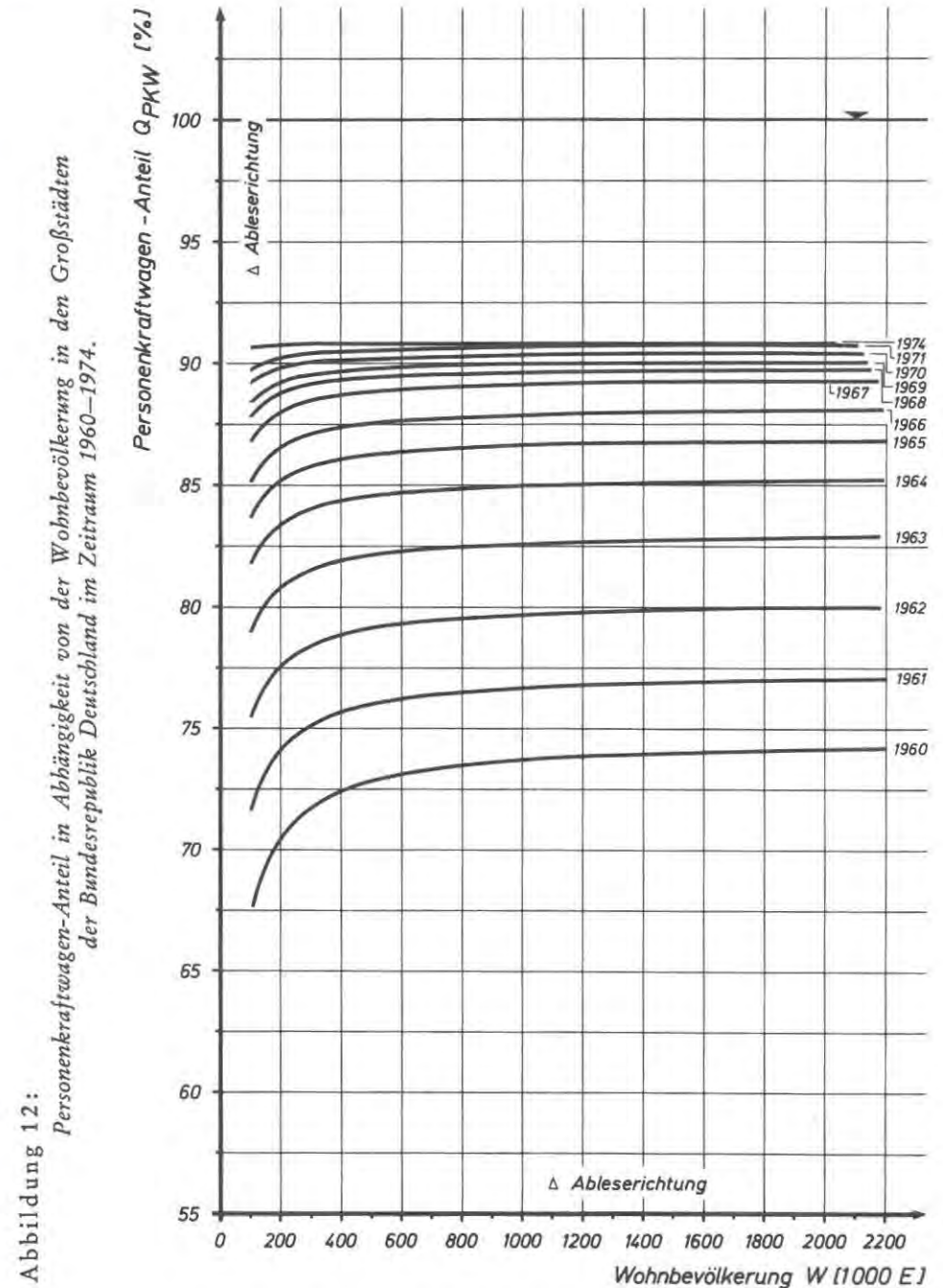
Gewählte Konstante A [%]	Bestimmtheitsmaß B [%]
100,0	85,97
97,5	87,30
95,0	89,39
92,5	93,43
92,0	94,80
91,0	93,53

In allen Fällen weichen die zugehörigen Korrelationskoeffizienten aufgrund des STUDENT-Tests gesichert von Null ab.

Die Ausgleichsfunktion mit der Konstanten $A = 100,0$ scheidet aus der weiteren Betrachtung aus, weil der Personenkraftwagen-Anteil nicht 100% betragen kann. Von den verbleibenden fünf Konstanten ergibt $A = 92,0$ das höchste Bestimmtheitsmaß der gewählten Ausgleichsfunktion mit $B = 94,80\%$. Daher wird die zu dieser Konstanten gehörige Ausgleichsfunktion gewählt und im oberen Teil von Bild 11 grafisch dargestellt. Die Korrelationsanalyse führte zu folgenden Ergebnissen:

- Regressionskurve: Asymptote des Personenkraftwagen-Anteils: $A_{QPKW} = 92,0 - 112,02682 \cdot 0,43623 B_{KFZ}$
 Gültigkeitsbereich: $2,392 \leq B_{KFZ} \leq 6,053$
 Zahl der Wertepaare: $N = 15$
 Bestimmtheitsmaß: $B = 0,94797$
 Korrelationskoeffizient: $R = 0,97364$
 errechneter T-Wert: $T_{ERR} = 15,390$
 T-Tafelwert für $S = 95\%$: $T_{95\%} = 2,160$
 T-Tafelwert für $S = 99\%$: $T_{99\%} = 3,012$
 Dimensionen der Variablen: B_{KFZ} [Mio. KFZ]
 A_{QPKW} [%].

Ergänzend zu Bild 9 ist in Bild 12 der Personenkraftwagen-Anteil in den Großstädten in Abhängigkeit von deren Wohnbevölkerung aufgetragen. Diese Kurven wurden aus den in den Bildern 1 und 2 dargestellten 1. Regressionsgeraden abgeleitet. Diese Geraden zeigen die Abhängigkeit des Bestandes an Kraftfahrzeugen bzw. Personenkraftwagen von der Wohnbevölkerung. Nach Bild 12 kann der Personenkraftwagen-Anteil in nichtlinearer Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung dargestellt werden. Der Personenkraftwagen-Anteil – bezogen auf ein bestimmtes Jahr – steigt zunächst verhältnismäßig steil an und nähert sich dann einer waagerechten Asymptote. Diese Asymptoten sind in Bild 12 wegen der besseren Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Seit 1960 sind die Kurven in zunächst ungefähr gleichen, später kleiner werdenden Abständen nach oben verschoben worden, d. h. der Personenkraftwagen-Anteil ist immer langsamer gewachsen. Etwa seit 1970 hat er kaum noch zugenommen. Analog zu Bild 9 ist in Bild 12 eine mit den Jahren zunehmende Angleichung des Personenkraftwagen-Anteils in den Großstädten mit einer kleinen und solchen mit einer großen



Wohnbevölkerung festzustellen. Während beispielsweise im Jahre 1960 noch erkennbare Unterschiede im Personenkraftwagen-Anteil kleiner und großer Großstädte festzustellen sind, treten solche Unterschiede im Jahre 1974 nicht mehr auf.

Tabelle 8:

Gleichungen und Gültigkeitsbereiche für die nichtlinearen Beziehungen zwischen der Wohnbevölkerung und dem Personenkraftwagen-Anteil in den Großstädten der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1960–1974

Bild-Nr.	Lau-fende Nr.	Jahr	Gleichung $Q_{PKW} = \frac{A + B \cdot W}{0,01 \cdot (C + D \cdot W)}$				Gültigkeitsbereich		Asymp-tote A_{QPKW} [%]
			A	B	C	D	min. W	max. W	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	1	1960	1,98115	0,08733	4,21563	0,11696	107,200	2203,900	74,67
	2	1961	2,11754	0,10115	4,01688	0,13067	100,200	2197,600	77,41
	3	1962	3,35649	0,11659	4,04750	0,14522	100,600	2180,300	80,29
	4	1963	2,38821	0,13132	3,85915	0,15799	100,400	2176,600	83,12
	5	1964	2,39229	0,14532	3,68019	0,17013	100,600	2192,700	85,42
	6	1965	2,26738	0,15953	3,43329	0,18339	100,900	2201,800	86,99
	7	1966	2,09300	0,17496	3,17888	0,19829	101,400	2190,600	88,23
	8	1967	1,97572	0,18496	2,90405	0,20687	101,600	2173,300	89,41
	9	1968	1,80124	0,19463	2,32950	0,21661	101,000	2149,700	89,85
	10	1969	0,84149	0,20712	1,40242	0,22982	99,900	2135,100	90,12
	11	1970	1,13687	0,22749	1,62382	0,25151	100,100	2122,300	90,45
	12	1971	3,17645	0,23671	3,84304	0,26079	100,900	2105,300	90,77
	13	1972	3,87967	0,24571	4,53946	0,27019	101,300	2080,000	90,94
	14	1973	4,08139	0,25514	4,64807	0,28047	101,400	2052,700	90,97
	15	1974	4,56192	0,25748	5,07938	0,28343	100,300	2032,600	90,84

Dimensionen der Variablen: Wohnbevölkerung W [1000 E.]
Personenkraftwagen-Anteil Q_{PKW} [%]

Tabelle 8 umfaßt die Gleichungen der in Bild 12 aufgetragenen Kurven des Personenkraftwagen-Anteils sowie deren Gültigkeitsbereiche und Asymptotenwerte. Letztere unterscheiden sich praktisch nicht von denjenigen in Tabelle 7.

Im unteren Teil des Bildes 10 sind die in Tabelle 8 zusammengestellten Zahlenwerte für die Asymptoten des Personenkraftwagen-Anteils im Zeitraum 1960–1974 jahrweise aufgetragen. Die Asymptotenwerte nahmen danach zwischen 1960 und 1964 etwa geradlinig, in den folgenden Jahren in zunehmend geringerem Maße zu. Seit etwa 1971 ist ein Zuwachs praktisch nicht mehr gegeben.

Im unteren Teil von Bild 11 ist die Asymptote des Personenkraftwagen-Anteils in den Großstädten in Abhängigkeit von deren gesamter Wohnbevölkerung aufgetragen. Wegen der nicht klar ausgeprägten Tendenz des Punkthaufens wurde hier auf einen Ausgleich durch eine Funktion verzichtet.

4. Zusammenfassung

Die derzeitigen Straßenverkehrsprobleme in der Bundesrepublik Deutschland treten vor allem in den Großstädten und Verdichtungsräumen augenfällig hervor. Wegen des großen Einflusses der Motorisierung auf diese Probleme wurden im vorliegenden Aufsatz – am Beispiel der Großstädte – Zusammenhänge zwischen den verkehrlich wichtigen Kenngrößen Wohnbevölkerung, Bestand an Kraftfahrzeugen, Bestand an Personenkraftwagen, Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge, Motorisierungsgrad Personenkraftwagen und Personenkraftwagen-Anteil im Zeitraum 1960–1974 aufgezeigt.

Mit Hilfe von Regressions- und Korrelationsanalysen und unter Einsatz einer EDV-Anlage wurden zunächst originäre Abhängigkeiten zwischen je zwei der Größen Wohnbevölkerung, Bestand an Kraftfahrzeugen und Bestand an Personenkraftwagen in Form linearer Einfachkorrelationen ermittelt und grafisch dargestellt. Dabei ergaben sich für den Bestand an Kraftfahrzeugen in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung sowie für den Bestand an Personenkraftwagen in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung jeweils ausgeprägte Geradenfächer, deren Regressionsgeraden mit wachsenden Jahreszahlen steiler wurden. Der Bestand an Personenkraftwagen in Abhängigkeit vom Bestand an Kraftfahrzeugen zeigte dagegen einen weitaus engeren Geradenfächer, dessen Geradenneigungen mit steigenden Jahreszahlen jedoch ebenfalls steiler wurden.

Aus diesen originären linearen Zusammenhängen wurden dann abgeleitete nichtlineare Abhängigkeiten zwischen den Größen Wohnbevölkerung, Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge, Motorisierungsgrad Personenkraftwagen und Personenkraftwagen-Anteil erarbeitet und in Diagrammen veranschaulicht.

Der Motorisierungsgrad Kraftfahrzeuge in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung und der Motorisierungsgrad Personenkraftwagen in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung ergaben jeweils hyperbelartige Kurvenscharen, deren Kurven mit wachsender Wohnbevölkerung jeweils abnahmen und die mit steigenden Jahreszahlen zunehmende Motorisierungsgrade anzeigten.

Für den Personenkraftwagen-Anteil in Abhängigkeit vom Bestand an Kraftfahrzeugen sowie für den Personenkraftwagen-Anteil in Abhängigkeit von der Wohnbevölkerung ergaben sich ebenfalls nach den Jahren gestaffelte Kurvenscharen, deren Kurven mit wachsendem Bestand an Kraftfahrzeugen bzw. mit wachsender Wohnbevölkerung anstiegen. Die Jahreskurven der beiden Scharen näherten sich in kleiner werdenden Schritten einem Personenkraftwagen-Anteil von rd. 92% (1974).

Summary

Correlation and regression analyses made under employment of electronic data processing for large towns in the Federal Republic of Germany and for the period 1960–1974 showed first originary dependences between each of the two factors: residential population, stock of motor vehicles and stock of passenger cars. These dependences were stated in form of linear simplex correlations and represented graphically. At the basis of these originary dependences nonlinear derived interrelations were then elaborated and illustrated by diagrams between degree of

motorization and share of passenger cars respectively on the one hand and residential population on the other hand.

Résumé

A l'aide d'analyses en corrélations et régressions ainsi que du traitement électronique de l'information se référant aux grandes villes de la République Fédérale de l'Allemagne pendant l'époque 1960—1974 on a tout d'abord établi sous forme de corrélations simples linéaires et représenté en graphiques des dépendances originaires entre chacun des deux facteurs population résidentielle, effectif de véhicules à moteur d'une part et de l'effectif de voitures privées d'autre part. Partant de ces dépendances originaires on a ensuite élaboré et représenté en diagrammes des relations nonlinéaires dérivées entre le degré de motorisation et la part de voitures privées d'une part et la population résidentielle d'autre part.

Struktur des Taktbetriebes in öffentlichen Verkehrsunternehmen und Möglichkeiten der Verbesserung des Regelmäßigkeitsniveaus

VON DIPL.-VOLKSW. KARL-HANS WEIMER, BONN

1. Position der Regelmäßigkeit innerhalb der komplexen Gesamtattraktivität

Die Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), die im Zusammenhang mit der notwendigen Substitution von individuellem durch öffentlichen Verkehr eine entscheidende Rolle spielt, hängt von den betriebsindividuellen Realisierungsgraden ab, mit denen die heterogenen Qualitätskomponenten verwirklicht sind. Zu den zahlreichen Qualitätsdimensionen, die hierbei von Bedeutung sind, ist u. a. auch die Regelmäßigkeit der öffentlichen Verkehrsmittel zu zählen. Wie bereits an anderer Stelle erläutert¹⁾, beeinflusst dieser Attraktivitätsaspekt nach Auffassung von 127 VÖV-Mitgliedsunternehmen die Qualität des Leistungsangebots eines Verkehrsbetriebes mit einer Intensität, die spürbar größer ist als z. B. die der Qualitätselemente

- Bequemlichkeit
- Preiswürdigkeit
- Sicherheit und
- Netzdichte.

Nur dem Qualitätsfaktor »Pünktlichkeit der öffentlichen Verkehrsmittel« werden stärkere Rückwirkungen auf die komplexe Größe »Attraktivität« zuerkannt.

Im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung der Qualität des ÖPNV in Unternehmen Nordrhein-Westfalens²⁾ wurde auch der Attraktivitätsaspekt »Regelmäßigkeit« für 32 Verkehrsbetriebe detaillierter analysiert. Basis der Ermittlungen waren die Fahrpläne der Unternehmen, die im Untersuchungszeitraum »April bis Juni 1974« gültig waren. Im folgenden sollen nach einer kurzen Erläuterung des Begriffs »Regelmäßigkeit im ÖPNV« einige wesentliche Resultate der durchgeführten Analyse dargestellt werden.

2. Erläuterungen zum Begriff der Qualitätsdimension »Regelmäßigkeit«

Die Attraktivitätsebene »Regelmäßigkeit« hängt eng zusammen mit der Qualitätskomponente »Häufigkeit«. Der zuletzt genannte Faktor berücksichtigt lediglich, daß während einer bestimmten Zeitspanne — z. B. während einer Stunde oder während eines Tages — eine bestimmte Zahl von Verkehrsmitteln auf einer Linie oder in einem

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Volksw. Karl-Hans Weimer
In der Maar 38
5300 Bonn-Bad Godesberg

- 1) Vgl. Weimer, K.-H., Die Bedeutungsdifferenzen von Angebotseigenschaften im öffentlichen Personennahverkehr; in: Verkehr und Technik, Heft 12/1974, S. 466 ff.
- 2) Vgl. Forschungsbericht der Friedrich-Ebert-Stiftung, Qualitätsbezogene Betriebsvergleiche im öffentlichen Personennahverkehr Nordrhein-Westfalens.