

Korrelative Untersuchungen von Straßenverkehrsunfällen

VON PROFESSOR DR.-ING. HANS-GEORG RETZKO
UND DR. TECHN. PETER CERWENKA,
DARMSTADT

I. Ältere Untersuchungen

Wie langfristige Unfallstatistiken zeigen, ereignet sich innerhalb geschlossener Ortschaften die Mehrzahl aller Straßenverkehrsunfälle und auch die Mehrzahl aller Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden.

Vergleicht man verschiedene Städte hinsichtlich des Unfallgeschehens miteinander, so kann man bestimmte Gesetzmäßigkeiten erkennen. So nimmt z. B. mit größer werdender Einwohnerzahl die Unfallzahl zu. Diese Erkenntnis ist an sich trivial. Eine quantitative Überprüfung dieses Zusammenhangs zwischen Einwohnerzahl und Unfallzahl mit Hilfe der Korrelationsrechnung führt jedoch zu bemerkenswerten numerischen Ergebnissen.

So hatte eine vom erstgenannten Verfasser im Jahre 1963 veröffentlichte korrelative Untersuchung¹⁾ der Einwohnerzahlen (E) und der Unfallzahlen (U) von 93 Gemeinden der Gemeindegrößenklassen C (41), B (26), A₃ (14), A₂ (9) und A₁ (3) mit mehr als 50.000 Einwohnern für den Zusammenhang zwischen E und U im Jahre 1961 ein erstaunlich hohes Bestimmtheitsmaß von $B=94,4\%$ ergeben²⁾. Es ließen sich also 94,4% der Streuung der U-Werte aus Veränderung von E durch einfache lineare Regression erklären. Dieses Ergebnis war im Hinblick auf die von Gemeinde zu Gemeinde stark variierenden Einflußfaktoren mannigfacher Art auf das spezifische Unfallgeschehen nicht ohne weiteres a priori zu erwarten gewesen. Dem Regressionskoeffizienten zufolge bewirkte eine Zunahme der Einwohnerzahl um 1000 bei den 93 Gemeinden eine Vergrößerung der Unfallzahl um im Mittel 25,9. Die Prüfung der Frage, ob sich die korrelativen Zusammenhänge zwischen E und U aus Gemeindegruppen verschiedener Gemeindegrößenklassen voneinander oder/und von dem korrelativen Zusammenhang der E- und U-Werte aller 93 Gemeinden zusammen unterschieden, hatte ergeben, daß sich die für die korrelativen Untersuchungen für die einzelnen Gemeindegrößenklassen errechneten Bestimmtheitsmaße jeweils signifikant vom Bestimmtheitsmaß der korrelativen Untersuchungen der E- und U-Werte aller 93 Gemeinden unterscheiden, daß jedoch der korrelative Zusammenhang zwischen E und U innerhalb jeder Gemeindegruppe weniger straff ist als der korrelative Zusammenhang zwischen E und U aller Gemeinden. Signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau = 5%) zwischen den Regressionskoeffizienten hatten jedoch interessanterweise nicht nachgewiesen werden können.

1) Retzko, H.-G., Ein Beispiel für vergleichende Untersuchungen der Unfallzahlen verschiedener Gemeinden, in: Straßenbau- und Verkehrsingenieure berichten. Festschrift für Johannes Schlums, Stuttgart 1963.

2) Auf die bei korrelativen Untersuchungen anzuwendenden Verfahren der mathematischen Statistik wird im Abschnitt II verwiesen.

Abbildung 1:

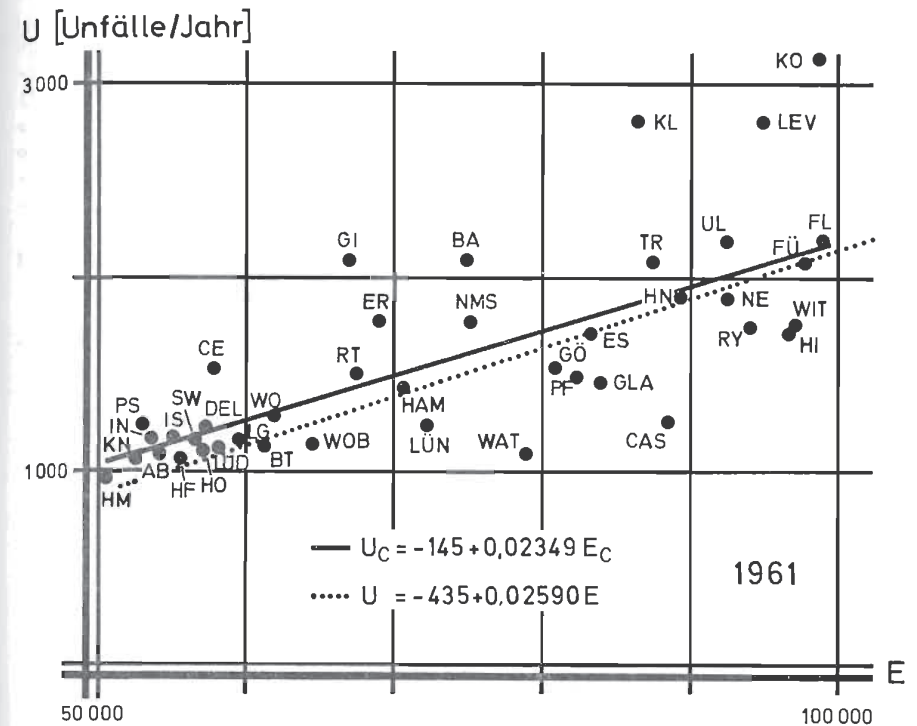


Abb. 1 zeigt ein Beispiel für die vorstehend beschriebenen korrelativen Untersuchungen des Jahres 1961. Es sind hier die Regressionsgerade der U-Werte bezüglich der E-Werte für die 41 Mittelstädte, Gemeindegrößenklasse C, und die Regressionsgerade der Korrelation der E- und U-Werte aller 93 Gemeinden mit mehr als 50.000 Einwohnern dargestellt. Ferner sind die beiden Regressionsgleichungen angegeben. An die Punkte, die die Wertpaare (E, U) darstellen, wurden die Bezirkskennungen der Kraftfahrzeugkennzeichen angeschrieben. Die Lage der Punkte zu den Regressionsgeraden vermittelt einen optischen Eindruck von der Straffheit des Zusammenhangs zwischen Einwohnerzahl und Unfallzahl.

In einer schon im Jahre 1957 durchgeführten Untersuchung, die dem Verfasser erst nach Veröffentlichung seiner eigenen Untersuchungen bekannt wurde, hatte Leutzbach³⁾ ähnliche Gesetzmäßigkeiten ermittelt. Leutzbach konnte erstmalig am Beispiel der kreisfreien Städte Nordrhein-Westfalens nachweisen, daß zwischen der Anzahl der an den Unfällen beteiligten Fußgänger und der Einwohnerzahl in allen Vierteljahresabschnitten der Jahre 1955 und 1956 ein linearer korrelativer Zusammenhang mit hoher Bestimmtheit besteht. Leutzbach fand ferner, daß der Regressionskoeffizient in den

3) Leutzbach, W., Fußgängerunfälle und Einwohnerzahl, in: Deutsche Verkehrswacht, Heft 12, 1957.

beiden Jahren 1955 und 1956 vom ersten bis zum vierten Vierteljahr ansteigt und im Jahre 1956 jeweils größer ist als für denselben Zeitabschnitt des Jahres 1955.

Die Untersuchungen von *Leutzbach* regten an zu prüfen, ob und wie sich die Abhängigkeit der Unfallzahl allgemein von der Einwohnerzahl zeitlich ändert. Diese Untersuchungen wurden vom erstgenannten Verfasser für Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern für die Jahre 1951, 1953, 1955, 1957, 1959 und 1961 durchgeführt. Die Zahlenwerte wurden einschlägigen Statistiken entnommen⁴⁾. Für die folgenden Jahre waren die statistischen Unterlagen wegen der neuerdings nicht mehr vollzähligen Erfassung aller Unfälle unvollständig (neue Abgrenzung für die Meldepflicht der Sachschadensunfälle).

Die einfache lineare Korrelationsrechnung ergab sechs Regressionsgleichungen. Sie sind nachfolgend in der Form

$$U = \bar{U} + b \cdot (E - \bar{E})$$

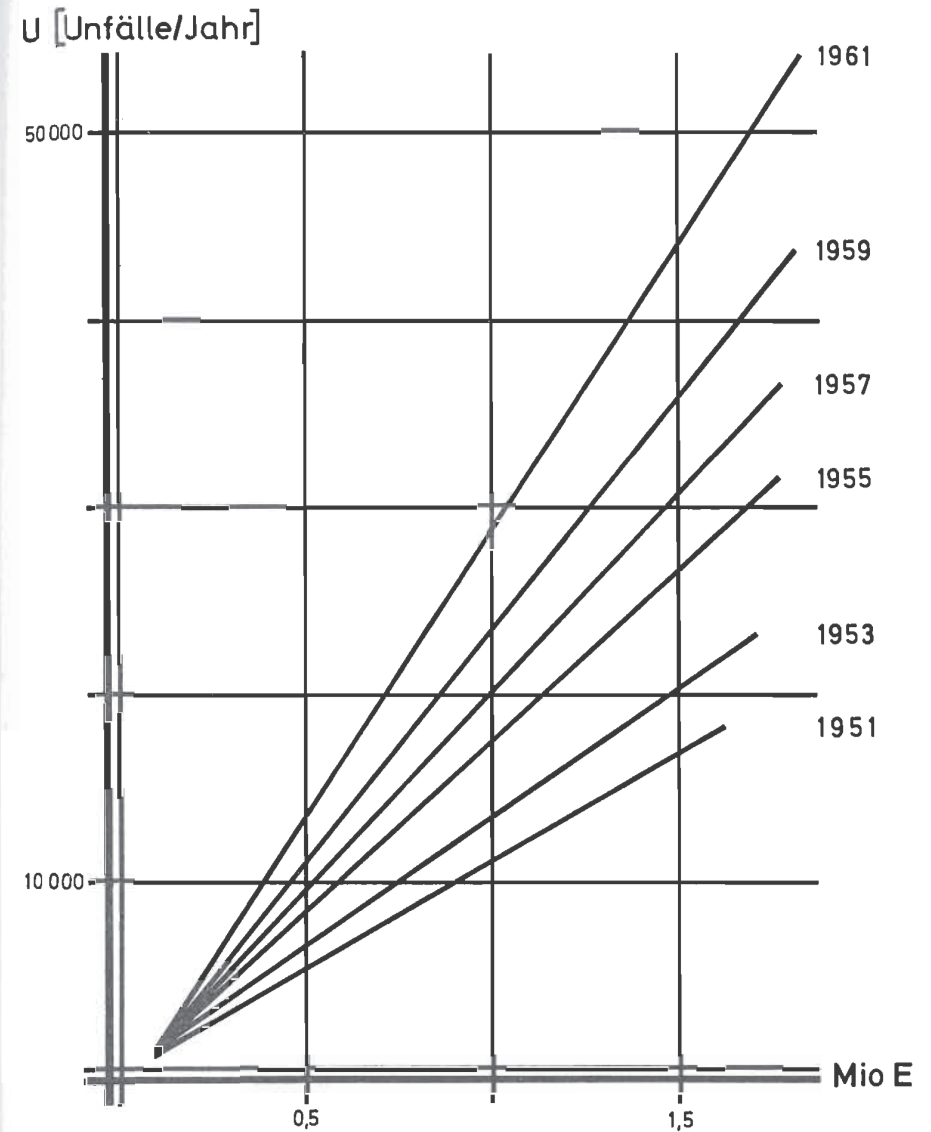
mit ihren Gültigkeitsbereichen für die unabhängige Variable (E) und mit den Bestimmtheitsmaßen angegeben.

1951	$U = 2869,333 + 0,01139 \cdot (E - 291400,000)$ $101\ 000 \leq E \leq 1\ 621\ 000$ $B = 92,95\ \%$
1953	$U = 3788,766 + 0,0138 \cdot (E - 304680,851)$ $100\ 000 \leq E \leq 1\ 723\ 000$ $B = 93,03\ \%$
1955	$U = 4765,260 + 0,0184 \cdot (E - 306940,000)$ $101\ 000 \leq E \leq 1\ 782\ 000$ $B = 95,23\ \%$
1957	$U = 5480,804 + 0,0216 \cdot (E - 310254,902)$ $104\ 000 \leq E \leq 1\ 787\ 000$ $B = 95,37\ \%$
1959	$U = 6664,608 + 0,0246 \cdot (E - 319294,118)$ $107\ 000 \leq E \leq 1\ 824\ 000$ $B = 96,18\ \%$
1961	$U = 7924,577 + 0,0304 \cdot (E - 319211,538)$ $100\ 000 \leq E \leq 1\ 832\ 000$ $B = 96,08\ \%$

Im Jahre 1951 ereigneten sich in den 45 Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern (i.M. 291.400 Einwohner) also i.M. nur rd. 2.869 Unfälle, im Jahre 1961 ereigneten sich dagegen in den dann 52 Gemeinden mit mehr als 100.000 Einwohnern (i.M. rd. 319.212 Einwohner) also i.M. rd. 7.925 Unfälle. Die mittlere Einwohnerzahl nahm also von 1951 bis 1961 um rd. 10%, die mittlere Unfallhäufigkeit um rd. 175% zu. Bei den 45 Gemeinden im Jahre 1951 hatte eine Zunahme der Einwohnerzahl um 1.000 eine Vergrößerung der Unfallhäufigkeit um i.M. 11,39, bei den 52 Gemeinden im Jahre 1961 dagegen um i.M. 30,4 zur Folge.

4) Die Einwohnerzahlen wurden auf volle Tausend gerundet.

Abbildung 2:

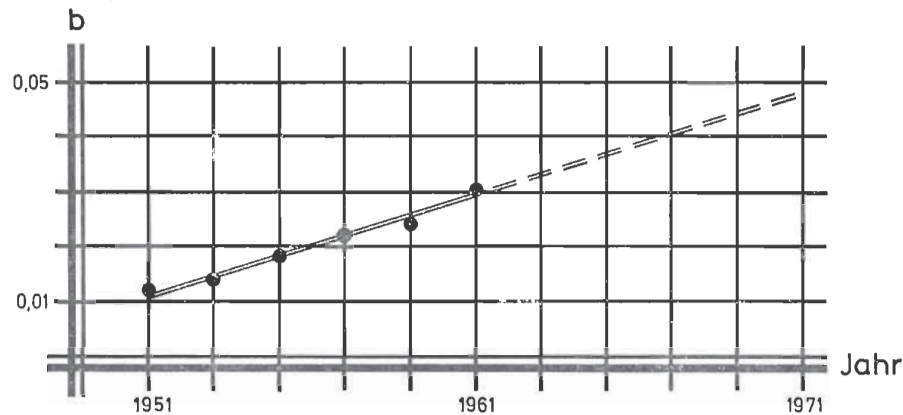


Die Bestimmtheitsmaße deuten in allen Jahren auf einen straffen Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und Unfallzahl hin. Die Unterschiede zwischen den Bestimmtheitsmaßen sind nicht signifikant. Die Regressionskoeffizienten unterscheiden sich signifikant von Jahr zu Jahr.

In Abb. 2 sind die Regressionsgeraden in ihren Gültigkeitsbereichen graphisch dargestellt. Das Strahlenbüschel veranschaulicht die mit größer werdender Jahreszahl größer werdenden Einwohnerzahlen und Unfallzahlen sowie die größer werdenden Regressionskoeffizienten.

Trägt man die Regressionskoeffizienten in Abhängigkeit von der Jahreszahl auf, so kann man die sich ergebenden Punkte gut durch eine Gerade ausgleichen (Abb. 3). Eine Verlängerung der nach Augenmaß eingezeichneten ausgleichenden Geraden über ihren Gültigkeitsbereich hinaus könnte – wenn man sich über die grundsätzlichen Bedenken gegen die Erlaubtheit einer Extrapolation empirisch gefundener Gesetzmäßigkeiten hinwegsetzt – zur Prognose der künftigen Abhängigkeit zwischen Einwohnerzahl und Unfallzahl benutzt werden. Eine empirische Überprüfung dieser Prognose durch Fortschreibung des Zahlenmaterials ist wegen der bereits erwähnten, nicht mehr vollzähligen Erfassung der Unfälle leider nicht möglich.

Abbildung 3:



II. Neue Untersuchungen

Auf Anregung des erstgenannten Verfassers führte der zweitgenannte Verfasser weitere korrelative Untersuchungen von Straßenverkehrsunfällen in Städten der Bundesrepublik Deutschland durch.

Ausgehend von der Überlegung, daß auch eine Abhängigkeit der Unfallzahl vom Kfz-Bestand des jeweils betrachteten Gebietes bestehen muß, wurden sowohl Einwohnerzahl als auch Kfz-Bestand im Rahmen eines multiplen linearen Regressionsmodelles

$$U = b_0 + b_1 \cdot E/1000 + b_2 \cdot Kfz/1000$$

mit $U \dots$ Unfallzahl (Unfälle/Jahr),

$E \dots$ Einwohnerzahl,
 $Kfz \dots$ Kfz-Bestand und

$b_0, b_1, b_2 \dots$ Regressionskoeffizienten mit Dimensionsausgleich

für 41 Städte der Bundesrepublik Deutschland mit mehr als 100.000 Einwohnern für die Jahre 1951, 1961 und 1971 berücksichtigt.

Bei Betrachtung des Datenmaterials erkennt man schon ohne eingehendere Untersuchung bzw. ohne statistischen Nachweis, daß – jedenfalls für die einzelnen Beobachtungszeitpunkte gesondert – mehr oder weniger starke Autokorrelation (d. h. Abhängigkeit der beiden unabhängigen Variablen E und Kfz untereinander) vorliegen dürfte, womit eine der beiden Größen in dem Modell überflüssig ist bzw. durch die andere substituiert werden kann. Dieser Sachverhalt ändert sich aber, wenn man die Ergebnisse verschiedener Beobachtungszeitpunkte miteinander vergleicht. Da zudem die Autokorrelation offensichtlich nicht so stark ist, daß sie zu numerischen Schwierigkeiten bei der zahlenmäßigen Berechnung an einer EDV-Anlage führt, wird sie nicht nur in Kauf genommen, sondern bewußt in Rechnung gestellt, um die Änderung der Abhängigkeiten (d. h. der Regressionskoeffizienten b_1 und b_2) mit der Zeit erkennbar zu machen.

Als Daten zur numerischen Untersuchung wurden verwendet

- Einwohnerzahlen für die einzelnen Städte für die Jahre 1951, 1961 und 1971^{5) 6) 7)},
- Kraftfahrzeugbestand für die einzelnen Städte für die Jahre 1951, 1961 und 1971^{8) 9) 10)},
- Unfallzahlen für die einzelnen Städte für die Jahre 1951, 1961 und 1971^{11) 12) 13)}.

Bedauerlicherweise sind nicht alle Unfallzahlen miteinander vergleichbar, da in den statistischen Datenquellen der Jahre 1961 und 1971 wegen der im Abschnitt I bereits erwähnten neuen Abgrenzung für die Meldepflicht der Sachschadensunfälle nur noch Unfälle mit Personenschaden erfaßt werden, während für das Jahr 1951 Unfälle mit Personenschaden und Sachschaden angegeben sind. Das Modell wird zwar auch mit den Werten von 1951 durchgerechnet, kann jedoch mit seinen Ergebnissen denjenigen der anderen Jahre nicht direkt gegenübergestellt werden.

Bei der Berechnung werden zunächst Schätzwerte für die Regressionskoeffizienten durch Minimierung der Fehlerquadratsumme

$$Q = \sum_{i=1}^n [U(E_i, Kfz_i) - U_i]^2 = \text{Minimum}$$

mit $n \dots$ Anzahl der Beobachtungen ($n = 41$)

- 5) Statistisches Bundesamt, Alphabetisches Verzeichnis der 49 Gemeinden mit 100.000 und mehr Einwohnern am 31. 12. 1951. Nicht publizierte Mitteilung.
- 6) Statistisches Bundesamt, Amtliches Verzeichnis der Gemeinden am 6. 6. 1961.
- 7) Statistisches Bundesamt, 60 kreisfreie Städte mit ihrer Wohnbevölkerung am 31. 12. 1971 nach der Größe. Nicht publizierte Mitteilung.
- 8) Kraftfahrt-Bundesamt, Der Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeug-Anhängern mit Fahrerlaubnis in den Großstädten des Bundesgebietes und in West-Berlin am 1. 7. 1951.
- 9) Kraftfahrt-Bundesamt, Der Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeug-Anhängern am 1. 7. 1961.
- 10) Kraftfahrt-Bundesamt, Der Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeug-Anhängern am 1. 7. 1971.
- 11) Statistisches Bundesamt, Die Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden und Sachschaden in den Großstädten des Bundesgebietes im Jahr 1951.
- 12) Statistisches Bundesamt, Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden und Unfallopfern in den Großstädten 1961.
- 13) Statistisches Bundesamt, Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden und Verunglückte in den Großstädten 1971. Fachserie H (Verkehr), Reihe 6 (Straßenverkehrsunfälle), Dezember 1971.

ermittelt. Diese Schätzwerte b_0, b_1, b_2 für die wahren (aber unbekannt) Größen $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ stellen im Falle linearer Zusammenhänge zugleich Erwartungswerte für $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ dar.

Über das Fehlerquadratsummenminimum Q erhält man mit

$$s = \sqrt{\frac{Q}{n-m}}$$

einen Schätzwert für die Standardabweichung σ . Dabei ist m die Anzahl der geschätzten Regressionskoeffizienten einschließlich b_0 ($m = 3$).

Danach werden mit den Erwartungswerten b_0, b_1, b_2 Erwartungswerte für die Regressionswerte U an den beobachteten Werten E_i, Kfz_i berechnet.

Zur generellen Abschätzung der Güte des Ausgleiches wird das Bestimmtheitsmaß

$$B = 1 - \frac{Q}{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}$$

mit $\bar{U} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_i$

ermittelt. Mit dem Bestimmtheitsmaß kann die Güte jedoch nur pauschal beurteilt werden. Differenziertere Ausgaben sind mit Hilfe von Konfidenzintervallen möglich. Für die Regressionswerte U (E_i, Kfz_i) werden daher an allen Stellen i die zugehörigen Konfidenzhalbintervalle DU_i in folgender Weise berechnet:

Bezeichnet man mit Q wie bisher das Fehlerquadratsummenminimum und mit Q^+ die Fehlerquadratsumme bei beliebigen Konstellationen der Regressionskoeffizienten, so gilt folgende Beziehung¹⁴⁾:

$$Q^+ = Q \cdot \left[1 + \frac{m}{n-m} \cdot F(P; m; n-m) \right]$$

mit

P ... gefordertes Wahrscheinlichkeitsniveau
(zu $0,95 = 95\%$ gewählt) und

$F(P; m; n-m)$... Wert aus der zur F-Verteilungsfunktion
inversen Funktion mit m und
 $n-m$ Freiheitsgraden .

Als Konfidenzintervalle für gesuchte Funktionen der Regressionskoeffizienten (hier für die Regressionswerte U) können nun extreme Werte für diese Funktionen unter Einhaltung der obigen Beziehung betrachtet werden. Bei Durchführung dieser Aufgabenstellung stößt man auf das mathematische Problem, Extremwerte unter Einhaltung einer Nebenbedingung zu ermitteln. Dieses Problem wird bekanntlich mit Hilfe der Multiplikatorenmethode durch Einführung des *Lagrange'schen* Multiplikators gelöst.

Mit den Symbolen

$$x_{1,i} = 1, \quad x_{2,i} = E_i, \quad x_{3,i} = Kfz_i$$

14) Draper, N. R., Smith, H., Applied Regression Analysis, New York 1966.

ergibt sich nach Durchführung der theoretischen Ableitung für das Konfidenzhalbintervall DU_i :

$$DU_i = \pm s \cdot \sqrt{\frac{1}{m} \cdot F(P; m; n-m)} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m c_{j,k} \cdot x_{j,i} \cdot x_{k,i}}$$

Hierin sind die $c_{j,k}$ die Elemente der zur Koeffizientenmatrix des Normalgleichungssystems inversen Matrix.

Von der Problemstellung her gesehen ist es interessant zu wissen, ob die Regressionen der einzelnen Jahre statistisch als zur selben Grundgesamtheit gehörig betrachtet werden können oder nicht, das heißt, ob die als unabhängig gewählten Variablen (E und Kfz) auch für verschiedene Zeitpunkte gleichermaßen die Zusammenhänge erklären können. Schon ein erster Vergleich der Regressionskoeffizienten b_1 und b_2 für 1961 und 1971 legt die Vermutung nahe, das dies nicht der Fall ist. Um festzustellen, ob diese Vermutung richtig oder falsch ist, wurde der Identitätstest für Regressionen durchgeführt¹⁵⁾. Danach muß zunächst die gemeinsame Regressionsgleichung aller Beobachtungen beider Zeitpunkte ermittelt werden. Bezeichnet man das Fehlerquadratsummenminimum der Regressionsgleichung von 1961 mit Q_1 , das von 1971 mit Q_2 und jenes von 1961 und 1971 gemeinsam mit Q , so ist die Hypothese, daß die Regressionsfunktionen von 1961 und 1971 statistisch übereinstimmen, mit einer (gewählten) Wahrscheinlichkeit von 95% abzulehnen, wenn

$$\frac{(Q - Q_1 - Q_2) / m}{(Q_1 + Q_2) / [2 \cdot (n-m)]} \geq F [0,95; m; 2 \cdot (n-m)]$$

ist, andernfalls kann die Hypothese nicht abgelehnt werden. Setzt man die entsprechenden Zahlenwerte ein, so erhält man für die linke Seite der Ungleichung:

$$\frac{(15,46 \cdot 10^6 - 6,63 \cdot 10^6 - 4,44 \cdot 10^6) / 3}{(6,63 \cdot 10^6 + 4,44 \cdot 10^6) / 76} = 10,04$$

Der Wert $F(0,95; 3; 76)$ beträgt 2,72.

Da $10,04 > 2,72$ ist, ist die Hypothese abgelehnt, das heißt, die beiden Regressionsfunktionen stimmen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% statistisch nicht überein, und man kann die oben geäußerte Vermutung als richtig ansehen. Das heißt ferner, es müssen neben den im Modell berücksichtigten Abhängigkeiten (trotz der sehr hohen Bestimmtheitsmaße von 0,971 bzw. 0,979) noch andere zeitabhängige Kausalzusammenhänge vorliegen (die möglicherweise zum Teil mit den berücksichtigten Abhängigkeiten autokorreliert sind).

Für die Jahre 1951, 1961, 1971 sowie 1961 + 1971 (1961 und 1971 zusammen, durch die Überschrift »SUMMEN« gekennzeichnet) werden die Rechenergebnisse nachfolgend wiedergegeben.

Zunächst sind das Modell und die Regressionskoeffizienten b_0, b_1 und b_2 (im Ausdruck durch B_0, B_1 und B_2 symbolisiert) ausgedrückt. Es folgen drei weitere Kennwerte, nämlich das Fehlerquadratsummenminimum Q , der Schätzwert s für die Standardabweichung und das Bestimmtheitsmaß B .

Anschließend folgt jeweils eine Tabelle, die für jede der untersuchten Städte (die durch die Bezirkskennung der Kraftfahrzeugkennzeichen identifizierbar sind) zunächst die

15) Heinhold, J., Gaede, K.-W., Ingenieur-Statistik, München - Wien 1972.

Computer-Ausdruck

1951

$$U = B0 + B1.E/1000 + B2.KFZ/1000$$

$$B0 = -284.7, B1 = 3.876, B2 = 142.3$$

$$Q = 9327220.6, S = 495.4, B = 0.978$$

I	STADT	I	E	I	KFZ	I	U(BEGB)	I	U(REGR)	I	DU(95)	I
I	HH	I	1650000	I	76498	I	17196	I	16998.9	I	1135.9	I
I	M	I	870100	I	60287	I	11180	I	11668.7	I	934.0	I
I	K	I	629200	I	31767	I	7530	I	6675.6	I	342.7	I
I	E	I	624100	I	20685	I	4783	I	5078.5	I	562.9	I
I	D	I	540100	I	27357	I	5857	I	5702.6	I	294.1	I
I	F	I	564400	I	36988	I	8117	I	7167.6	I	526.3	I
I	DO	I	534500	I	17941	I	3822	I	4340.6	I	468.0	I
I	S	I	521800	I	37469	I	6373	I	7070.9	I	618.3	I
I	HB1 *	I	463000	I	17109	I	4175	I	3945.1	I	352.3	I
I	H	I	467900	I	22538	I	5487	I	4736.8	I	257.8	I
I	N	I	381600	I	22790	I	4054	I	4438.2	I	309.9	I
I	DU	I	426700	I	13611	I	3416	I	3306.5	I	400.5	I
I	W	I	379100	I	16942	I	1952	I	3596.1	I	238.8	I
I	GE	I	329800	I	8486	I	2350	I	2201.5	I	398.7	I
I	BO	I	301300	I	9792	I	1752	I	2276.9	I	304.0	I
I	MA	I	256300	I	17190	I	3565	I	3155.5	I	332.3	I
I	KI	I	259500	I	9351	I	1748	I	2052.1	I	263.1	I
I	WI	I	229700	I	12470	I	2234	I	2380.5	I	251.4	I
I	KA	I	204600	I	10451	I	2511	I	1995.9	I	248.6	I
I	OB	I	211100	I	5656	I	1324	I	1338.6	I	303.0	I
I	HL	I	234400	I	6565	I	1506	I	1558.3	I	306.1	I
I	KR	I	178900	I	8767	I	1364	I	1656.6	I	253.9	I
I	BS	I	230400	I	11373	I	2450	I	2227.1	I	238.8	I
I	A	I	190600	I	9894	I	1761	I	1862.3	I	254.3	I
I	KS	I	171300	I	7473	I	1431	I	1443.0	I	254.6	I
I	MS	I	129600	I	5901	I	1082	I	1057.6	I	272.1	I
I	HA	I	154900	I	6279	I	1319	I	1209.4	I	262.0	I
I	MH	I	153400	I	5653	I	1317	I	1114.5	I	266.2	I
I	AC	I	136800	I	6771	I	1313	I	1209.3	I	271.3	I
I	SG	I	152100	I	8256	I	918	I	1480.0	I	271.6	I
I	LU	I	131400	I	6403	I	1002	I	1136.0	I	273.0	I
I	BI	I	161500	I	8743	I	1034	I	1585.7	I	268.1	I
I	FR	I	119000	I	8672	I	1576	I	1410.9	I	323.0	I
I	MG	I	129600	I	6087	I	1223	I	1084.1	I	272.7	I
I	HB2 *	I	118000	I	3580	I	907	I	682.3	I	283.9	I
I	RS	I	107300	I	4868	I	584	I	824.1	I	282.7	I
I	OL	I	122100	I	4007	I	875	I	758.9	I	280.0	I
I	R	I	121300	I	5908	I	1086	I	1026.4	I	277.7	I
I	RE	I	108700	I	3877	I	820	I	688.5	I	282.7	I
I	HD	I	119100	I	5177	I	2002	I	913.8	I	276.5	I
I	HER	I	113000	I	3118	I	657	I	597.1	I	288.5	I

* HB1 = BREMEN (STADT)

* HB2 = BREMERHAVEN

1961

$$U = B0 + B1.E/1000 + B2.KFZ/1000$$

$$B0 = -0.8, B1 = 3.935, B2 = 20.4$$

$$Q = 6631706.8, S = 417.8, B = 0.971$$

I	STADT	I	E	I	KFZ	I	U(BEGB)	I	U(REGR)	I	DU(95)	I
I	HH	I	1832346	I	265771	I	12604	I	12625.1	I	915.5	I
I	M	I	1085014	I	196855	I	8535	I	8280.1	I	729.1	I
I	K	I	809247	I	130014	I	6735	I	5832.9	I	347.1	I
I	E	I	726550	I	84682	I	3894	I	4583.7	I	525.0	I
I	D	I	702596	I	109730	I	4340	I	4999.9	I	280.4	I
I	F	I	683081	I	132065	I	5792	I	5378.2	I	585.1	I
I	DO	I	641480	I	76231	I	4577	I	4076.8	I	435.7	I
I	S	I	637539	I	113014	I	3338	I	4810.8	I	394.5	I
I	HB1 *	I	564517	I	76747	I	4162	I	3784.4	I	260.3	I
I	H	I	572917	I	90624	I	4401	I	4100.3	I	240.6	I
I	N	I	454520	I	71322	I	2976	I	3241.0	I	209.1	I
I	DU	I	502993	I	62976	I	3856	I	3261.7	I	295.5	I
I	W	I	420711	I	57265	I	1952	I	2821.6	I	211.5	I
I	GE	I	382689	I	39515	I	2386	I	2310.2	I	354.0	I
I	BO	I	361382	I	39088	I	2257	I	2217.7	I	312.0	I
I	MA	I	313890	I	53067	I	2491	I	2315.7	I	235.6	I
I	KI	I	273284	I	32368	I	1697	I	1734.1	I	234.3	I
I	WI	I	253280	I	42383	I	1591	I	1859.5	I	231.4	I
I	KA	I	241929	I	41202	I	1861	I	1790.7	I	238.5	I
I	OB	I	256773	I	28767	I	1831	I	1595.8	I	247.1	I
I	HL	I	235200	I	27350	I	1505	I	1482.0	I	233.1	I
I	KR	I	213104	I	33098	I	1736	I	1512.2	I	219.6	I
I	BS	I	246085	I	30044	I	1532	I	1742.7	I	211.4	I
I	A	I	208659	I	30339	I	1664	I	1438.5	I	214.3	I
I	KS	I	207507	I	32315	I	1279	I	1474.2	I	221.4	I
I	MS	I	182721	I	24242	I	1292	I	1212.2	I	221.3	I
I	HA	I	195527	I	22943	I	1070	I	1236.1	I	230.0	I
I	MH	I	185708	I	24020	I	1244	I	1219.4	I	221.8	I
I	AC	I	169769	I	22243	I	1192	I	1120.5	I	225.2	I
I	SG	I	169930	I	25989	I	901	I	1197.4	I	229.7	I
I	LU	I	165761	I	26626	I	1275	I	1194.0	I	236.9	I
I	BI	I	174642	I	26811	I	1217	I	1232.7	I	228.7	I
I	FR	I	145016	I	25917	I	1326	I	1097.9	I	260.0	I
I	MG	I	152185	I	20754	I	1228	I	1020.9	I	230.2	I
I	HB2 *	I	141849	I	14740	I	630	I	857.7	I	245.0	I
I	RS	I	126892	I	18009	I	595	I	865.5	I	240.0	I
I	OL	I	125198	I	16431	I	832	I	826.6	I	239.3	I
I	R	I	125047	I	18472	I	930	I	867.6	I	242.5	I
I	RE	I	130581	I	14774	I	1051	I	814.0	I	241.2	I
I	HD	I	125264	I	19779	I	1156	I	895.1	I	247.1	I
I	HER	I	113207	I	11444	I	674	I	677.8	I	249.4	I

* HB1 = BREMEN (STADT)

* HB2 = BREMERHAVEN

1971

$$U = B0 + B1 \cdot E/1000 + B2 \cdot KFZ/1000$$

$$B0 = -125.9, B1 = 2.283, B2 = 15.3$$

$$Q = 4436378.5, S = 341.7, B = 0.979$$

I STADT	I E	I KFZ	I U(BEOB)	I U(REGR)	I DU(95)
I HH	I 1781621	I 509197	I 12694	I 11711.1	I 679.8
I M	I 1338432	I 403480	I 8283	I 9086.3	I 551.9
I K	I 846479	I 232857	I 5639	I 5359.6	I 298.2
I E	I 691830	I 169069	I 3517	I 4033.2	I 456.2
I D	I 650377	I 189155	I 3939	I 4245.1	I 215.0
I F	I 657776	I 217980	I 5178	I 4701.9	I 508.5
I DO	I 642396	I 163121	I 3624	I 3829.6	I 342.1
I S	I 632947	I 196139	I 3488	I 4311.9	I 318.6
I HB1 *	I 594591	I 164582	I 3703	I 3742.8	I 193.7
I H	I 516744	I 142266	I 3195	I 3224.6	I 175.6
I N	I 480407	I 139487	I 2468	I 3099.2	I 178.0
I DU	I 448791	I 111742	I 2632	I 2603.7	I 258.8
I W	I 416699	I 104842	I 1897	I 2425.1	I 229.8
I GE	I 344600	I 73029	I 1781	I 1775.1	I 362.5
I BO	I 341767	I 81403	I 2001	I 1896.4	I 247.3
I MA	I 330635	I 98745	I 2443	I 2135.6	I 193.4
I KI	I 269437	I 71394	I 1541	I 1578.6	I 166.1
I WI	I 251969	I 79803	I 1748	I 1667.0	I 238.5
I KA	I 258409	I 82249	I 1547	I 1719.0	I 243.9
I OB	I 244946	I 57950	I 1402	I 1317.5	I 206.7
I HL	I 239761	I 58384	I 1556	I 1312.3	I 192.1
I KR	I 222577	I 66496	I 1739	I 1396.9	I 199.0
I BS	I 222805	I 62659	I 1359	I 1338.8	I 176.9
I A	I 213596	I 56323	I 1474	I 1221.1	I 173.6
I KS	I 215039	I 65006	I 1154	I 1356.9	I 205.7
I MS	I 198470	I 51150	I 1322	I 1107.6	I 177.8
I HA	I 199714	I 50265	I 988	I 1097.0	I 180.8
I MH	I 192915	I 50797	I 1074	I 1089.6	I 177.8
I AC	I 176626	I 45293	I 1101	I 968.4	I 182.1
I SG	I 176946	I 47493	I 733	I 1002.7	I 182.2
I LU	I 175401	I 49830	I 1144	I 1034.8	I 190.7
I BI	I 168011	I 49574	I 776	I 1014.1	I 202.6
I FR	I 168196	I 48549	I 1076	I 998.9	I 196.4
I MG	I 151232	I 40605	I 955	I 838.9	I 189.6
I HB2 *	I 144503	I 34754	I 764	I 734.3	I 192.3
I RS	I 136699	I 35295	I 718	I 724.7	I 191.9
I OL	I 132117	I 37359	I 992	I 745.7	I 202.0
I R	I 131942	I 35686	I 777	I 719.8	I 196.3
I RE	I 125432	I 29968	I 829	I 617.7	I 195.9
I HD	I 122097	I 35586	I 1049	I 695.8	I 210.2
I HER	I 104025	I 21828	I 524	I 444.6	I 206.7

* HB1 = BREMEN (STADT)
* HB2 = BREMERHAVEN

SUMMEN

$$U = B0 + B1 \cdot E/1000 + B2 \cdot KFZ/1000$$

$$B0 = -143.1, B1 = 7.409, B2 = -2.2$$

$$Q = 15464374.5, S = 442.4, B = 0.965$$

I STADT	I E	I KFZ	I U(BEOB)	I U(REGR)	I DU(95)
I HH	I 1832346	I 265771	I 12604	I 12837.2	I 849.8
I M	I 1085014	I 196855	I 8535	I 7454.5	I 372.8
I K	I 809247	I 130014	I 6735	I 5561.3	I 298.9
I E	I 726550	I 84682	I 3894	I 5050.2	I 360.2
I D	I 702596	I 109730	I 4340	I 4816.5	I 263.3
I F	I 683081	I 132065	I 5792	I 4621.8	I 203.0
I DO	I 641480	I 76231	I 4577	I 4438.9	I 311.0
I S	I 637539	I 113014	I 3338	I 4327.1	I 206.2
I HB1 *	I 564517	I 76747	I 4162	I 3867.5	I 243.4
I H	I 572917	I 90624	I 4401	I 3898.6	I 211.3
I N	I 454520	I 71322	I 2976	I 3064.6	I 178.0
I DU	I 502993	I 62976	I 3856	I 3442.5	I 235.9
I W	I 420711	I 57265	I 1952	I 2845.7	I 192.3
I GE	I 382689	I 39515	I 2386	I 2603.8	I 218.2
I BO	I 361382	I 39088	I 2257	I 2446.9	I 205.1
I MA	I 313890	I 53067	I 2491	I 2063.6	I 150.8
I KI	I 273284	I 32368	I 1697	I 1809.2	I 175.5
I WI	I 253280	I 42383	I 1591	I 1638.5	I 153.7
I KA	I 241929	I 41202	I 1861	I 1557.0	I 154.0
I OB	I 256773	I 28767	I 1831	I 1694.9	I 177.1
I HL	I 235200	I 27350	I 1505	I 1538.3	I 172.8
I KR	I 213104	I 33098	I 1736	I 1361.7	I 160.4
I BS	I 246085	I 38044	I 1532	I 1594.9	I 157.9
I A	I 208659	I 30339	I 1664	I 1334.9	I 163.1
I KS	I 207507	I 32315	I 1279	I 1321.9	I 160.9
I MS	I 182721	I 24242	I 1292	I 1156.4	I 168.4
I HA	I 195527	I 22943	I 1070	I 1254.2	I 171.5
I MH	I 185708	I 24020	I 1244	I 1179.0	I 168.8
I AC	I 169769	I 22243	I 1192	I 1064.9	I 170.1
I SG	I 169930	I 25989	I 901	I 1057.7	I 166.7
I LU	I 165761	I 26626	I 1275	I 1025.4	I 166.6
I BI	I 174642	I 26811	I 1217	I 1090.8	I 165.9
I FR	I 145016	I 25917	I 1326	I 873.3	I 169.9
I MG	I 152185	I 20754	I 1228	I 938.0	I 171.6
I HB2 *	I 141849	I 14740	I 630	I 874.9	I 177.6
I RS	I 126892	I 18009	I 595	I 756.7	I 175.8
I OL	I 125198	I 16431	I 832	I 747.7	I 176.9
I R	I 125047	I 18472	I 930	I 742.0	I 175.8
I RE	I 130581	I 14774	I 1051	I 791.3	I 177.7
I HD	I 125264	I 19779	I 1156	I 740.7	I 175.2
I HER	I 113207	I 11444	I 674	I 670.1	I 181.6

* HB1 = BREMEN (STADT)
* HB2 = BREMERHAVEN

SUMMEN

I STADT I	E	KFZ	U (BEOB)	U (REGR)	DU (95)
I HH I	1781621	509197	12694	11915.1	761.5
I M I	1338432	403480	8383	8868.6	608.6
I K I	846479	232857	5639	5606.4	308.6
I E I	691830	169069	3517	4603.6	207.2
I D I	650377	189155	3939	4251.4	263.7
I F I	657776	217980	5178	4241.6	351.6
I DO I	642396	163121	3624	4250.7	202.9
I S I	632947	196139	3488	4106.6	294.0
I HB1 * I	594591	164582	3703	3893.2	220.3
I H I	516744	142266	3195	3366.5	195.8
I N I	480407	139487	2468	3103.5	206.2
I DU I	448791	111742	2632	2931.5	156.1
I W I	416699	104842	1897	2709.2	154.4
I GE I	344600	73029	1781	2246.4	140.1
I BO I	341767	81403	2001	2206.6	145.0
I MA I	330635	98745	2443	2085.2	182.7
I KI I	269437	71394	1541	1693.1	159.0
I WI I	251969	79803	1748	1544.8	185.9
I KA I	258409	82249	1547	1587.0	187.6
I OB I	244946	57950	1402	1541.8	152.8
I HL I	239761	58384	1556	1502.4	155.0
I KR I	222577	66496	1739	1356.9	175.3
I BS I	222805	62659	1359	1367.2	168.3
I A I	213596	56323	1474	1313.2	163.6
I KS I	215039	65006	1154	1304.4	176.9
I MS I	198470	51150	1322	1212.7	164.2
I HA I	199714	50265	988	1223.9	162.8
I MM I	192915	50797	1074	1172.4	166.3
I AC I	176626	45293	1101	1064.0	167.6
I SG I	176946	47493	733	1061.4	169.9
I LU I	175401	49830	1144	1044.8	173.6
I BI I	168011	49574	776	990.6	177.2
I FR I	168196	48549	1076	994.2	175.6
I MG I	151232	40605	955	886.4	174.2
I HB2 * I	144503	34754	764	849.6	172.1
I RS I	136699	35295	718	790.6	175.7
I OL I	132117	37359	592	752.0	179.8
I R I	131942	35686	777	754.5	178.2
I RE I	125432	29968	829	719.1	176.5
I HD I	122097	35586	1049	681.8	182.8
I HER I	104025	21828	524	578.7	180.6

* HB1 = BREMEN (STADT)

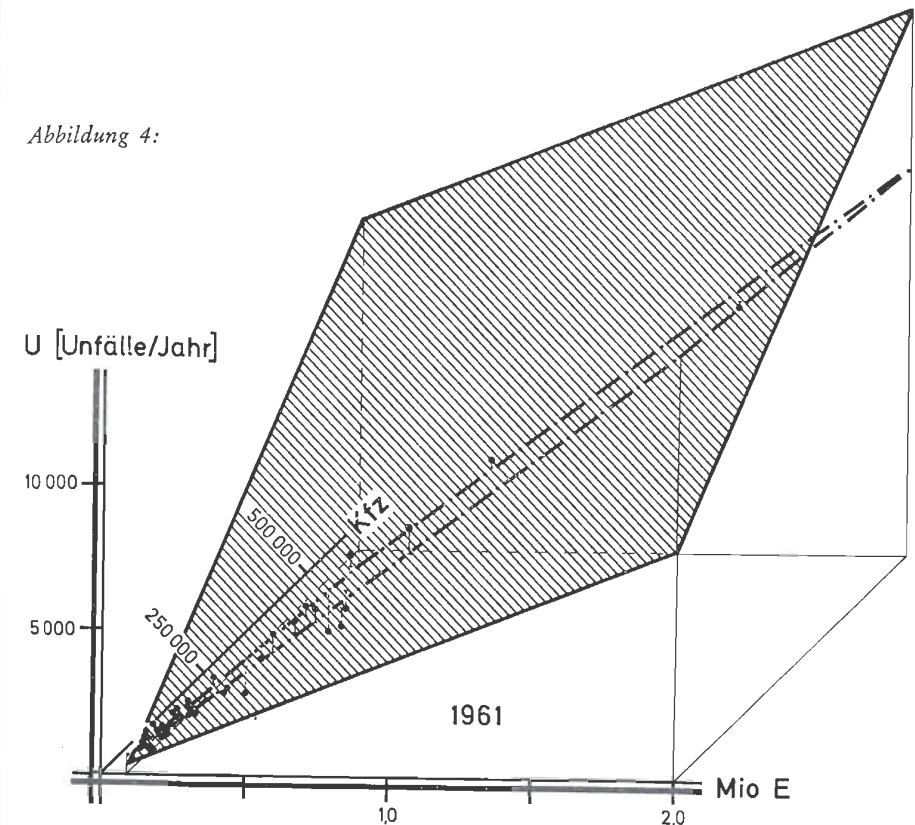
* HB2 = BREMERHAVEN

Eingangdaten E, KFZ, U(BEOB) enthält, ferner die ermittelten Werte U(REGR) und schließlich die Konfidenzhalbintervalle DU(95) unter Zugrundelegung eines Wahrscheinlichkeitsniveaus von 95%.

Die Rechenergebnisse für die Jahre 1961 und 1971 sind in Abb. 4 und 5 graphisch dargestellt. Um zu zeigen, wie die gemeinsame Ausgleichsebene von 1961 + 1971 (die allerdings wegen der Ablehnung der Identitätshypothese sachlich nicht zulässig ist) zu den Ausgleichsebenen der einzelnen Beobachtungsjahre liegt, wurde sie in beide Abbildungen mit geänderteter Signatur mit eingezeichnet.

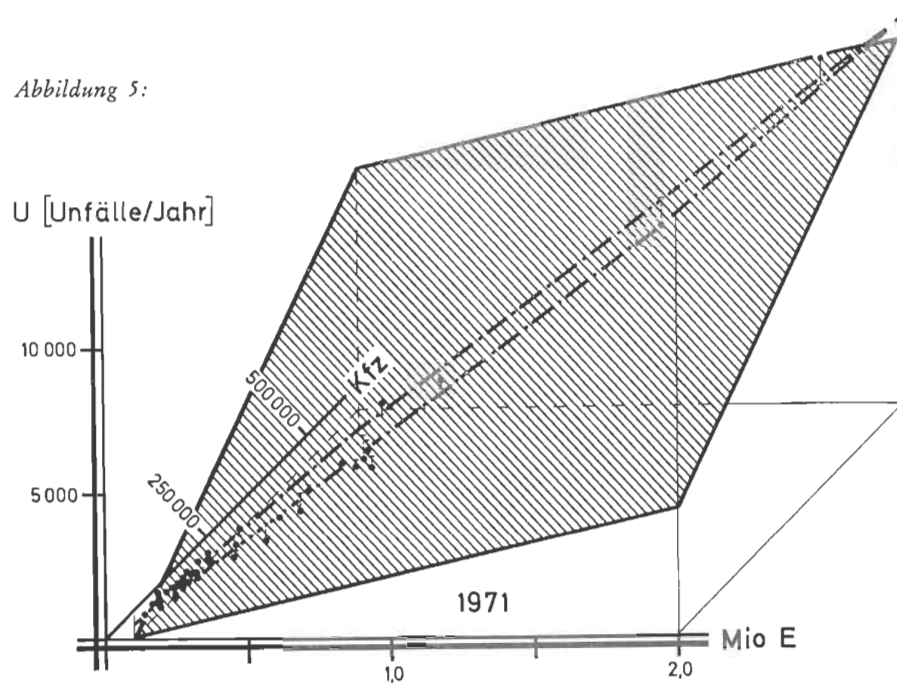
Die numerische Berechnung wurde auf der IBM 7040 des Rechenzentrums der Technischen Hochschule Darmstadt durchgeführt.

Abbildung 4:



Bei einer Interpretation der Ergebnisse muß es zunächst als plausibel bezeichnet werden, daß die Regressionskoeffizienten b_1 und b_2 positiv sind. Eine Zunahme der Einwohner oder des Kfz-Bestandes bewirkt also eine Zunahme an Unfällen. Diese Erkenntnis ist —

Abbildung 5:



was einleitend bereits gesagt wurde – trivial. Es ist jedoch bemerkenswert, daß sowohl b_1 als auch b_2 im Jahre 1971 gegenüber 1961 kleiner geworden ist. Offensichtlich bewirkt eine Zunahme der Einwohnerzahlen bzw. des Kfz-Bestandes mit fortschreitender Zeit eine relativ geringere Zunahme der Unfallzahlen. Hier wirken sich vermutlich die durch erhöhte Kfz-Dichte bedingten geringeren Fahrgeschwindigkeiten aus. Der Koeffizient b_1 , der den Einfluß der Einwohnerzahl repräsentiert, hat im Jahre 1971 gegenüber 1961 um 42% (bezogen auf 1961) abgenommen, der Koeffizient b_2 um 25%. Die Tatsache, daß b_1 relativ mehr abgenommen hat als b_2 , läßt aber auch darauf schließen, daß neben der durch Erhöhung der Kfz-Dichte bedingten Reduktion der Fahrgeschwindigkeiten auch ein Strukturwandel der Verhaltensmuster der Verkehrsteilnehmer zu einer relativen Senkung der Unfallzahlen geführt haben kann.

Wenngleich die Ergebnisse von 1951 und 1961 aus bereits erwähnten Gründen nicht ohne weiteres vergleichbar sind, so ist doch bei nahezu gleichem Koeffizienten b_1 von 1951 und 1961 ein ganz enormer Unterschied im Koeffizienten b_2 festzustellen. Beträgt dieser im Jahre 1961 nur mehr 20,4 (d. h., eine Zunahme von 1000 Kfz bewirkt bei gleicher Einwohnerzahl eine Zunahme von durchschnittlich ca. 20 Unfällen mit Personenschaden pro Jahr), so beträgt dieser Koeffizient im Jahre 1951 142,3. Das heißt, Unfälle mit Personen- und Sachschaden nehmen relativ sehr viel stärker mit steigendem Kfz-Bestand zu als Unfälle mit Personenschaden allein – eine Feststellung, die Sachkundigen in qualitativer Form natürlich ebenfalls bereits bekannt war.

III. Schluß

Durch die vorstehend beschriebenen älteren und neuen korrelativen Untersuchungen sollte erneut gezeigt werden, wie aufschlußreich Aufbereitung und Auswertung des Zahlenmaterials amtlicher Statistiken sein können, wenn mathematisch-statistische Methoden angewendet werden. Wichtig ist dabei jedoch, daß Verfahren angewendet werden, die dem statistischen Urmaterial bestmöglich gerecht werden. Ferner ist wichtig, daß die gewonnenen Ergebnisse mit Hilfe geeigneter Prüfverfahren untersucht werden, um sie – besonders auch bei Vergleichen untereinander – richtig zu werten und zu deuten.

Insgesamt haben die Untersuchungen gezeigt, daß trotz der von Stadt zu Stadt stark variierenden Einflußfaktoren mannigfacher Art auf das spezifische Unfallgeschehen nachweisbare stochastische Zusammenhänge bestehen.

Summary

In the first part of the publication the relation between the number of accidents and the number of inhabitants of cities above 100.000 inhabitants is shown by means of a simple linear regression, and the variation of this relation as a function of time is studied. In the second part another explanatory variable: the degree of motorization has been taken into the linear regression model. The variation of this extended model as a function of time is studied and interpreted.

Résumé

Dans la première partie de la publication l'auteur étudie la relation entre le nombre des accidents et le nombre d'habitants de villes de plus de 100.000 habitants et la variation de cette relation dans le temps à l'aide d'une régression linéaire simple. Dans la seconde partie on fait entrer en ligne de compte dans le modèle de régression linéaire une variable explicative supplémentaire: le degré de motorisation. La variation de ce modèle étendu en fonction du temps est étudiée et interprétée.