

Luftreinhaltung in der Stadtökologie – eine Systemanalyse

von Birgit PILCH, Ralf ASCHEMANN, Gilbert AHAMER
mit 8 Abbildungen im Text

Angenommen am 15. April 1992

Zusammenfassung: Um die Wirkungsweise eines vernetzten Systems zu beschreiben, wurde für das Themengebiet „Luftreinhaltung“ ein Systemzusammenhang entworfen, der es mit Hilfe einer einfachen Matrizenmultiplikation ermöglicht, die nötigen Maßnahmen für eine verbesserte Luftqualität und deren Auswirkungen überblicksmäßig zu simulieren.

Dabei stellt sich heraus, daß für eine gewünschte langfristige Verbesserung der Luftgüte solche Maßnahmen, die aus dem Bereich der Sozialwissenschaften ableitbar sind, zielführender sind als Maßnahmen, die direkt am Emittenten ansetzen. Dies rührt daher, daß in einem vernetzten System Regelkreise wirksam werden, die im Verstärkungsfall eine große Wirkung trotz eines verhältnismäßig geringen Aufwandes in Gang setzen können.

1. Einleitung

Oft zeigt sich im Gebiet des Umweltschutzes, daß die Wirkung einer bestimmten Handlung nicht auf den unmittelbar beabsichtigten Effekt beschränkt bleibt. Nebenwirkungen können über Umwege eine viel größere Dynamik im Gesamtsystem entfachen als direkte Wirkungen. Eine solche Charakteristik tritt auf bei geschlossenen Regelkreisen, welche sich selbst aufschaukeln (positive Rückkopplung) oder auch stabilisieren können (negative Rückkopplung).

Beispielsweise löst die Verlagerung von Wohngebieten in das unverpestete „Grün“ am Stadtrand weitere Verkehrsströme aus, welche ihrerseits wieder zusätzliche Verkehrsströme veranlassen, welche die Lebensqualität weiter herabsenken.

Als Hilfsmittel zu einer klaren Gedankenorganisation für das System „Luftreinhaltung in einer Stadt“ sollen zunächst die hauptsächlichen Beschreibungsgrößen herausgefunden werden und diese dann miteinander in Beziehung gesetzt werden.

2. Die Beschreibungsparameter

Eine gleichmäßige Verteilung von Beschreibungsparametern über das gesamte Themengebiet erscheint zur Modellierung der Systemdynamik nötig. Deren Struktur ist wie folgt: die thematische Hauptebene besteht aus dem Punkt (1) „Emittenten“, der „Immission auf die Natur“ (2), der „Wirkung auf den Menschen“ (3) und schließlich aus den sozialen Randbedingungen „Politik und Wirtschaft“ in Punkt (4).

Jede solche Hauptebene gliedert sich in drei Zwischenebenen auf, welche aus Abb. 1 entnommen werden können. Beispielsweise gliedern sich die Emittenten in Verkehr, in Energie/Industrie/Gewerbe und schließlich die Wärmeversorgung. Jede dieser Zwischenebenen wird durch meist drei Indikatoren (= Variablen = Parameter) endgültig beschrieben. Eine genauere Beschreibung der einzelnen Indikatoren sowie Maßeinheiten ist in der Langfassung dieser Arbeit (PILCH et al. 1988) angegeben.

PKT.	HAUPTEBENE	PUNKT	ZWISCHENEBENE	PUNKT	INDIKATOR = VARIABLE = PARAMETER	N°
1	EMITTENTEN	1.1	VERKEHR	1.1.1	Angebotene Verkehrsmittel im Verhältnis ÖV/IV	1
				1.1.2	Nachfrage nach Verkehrsmitteln im Verh. ÖV/IV	2
				1.1.3	Emissionen der Verkehrsmittel	3
		1.2	ENERGIE, INDUSTRIE, GEWERBE	1.2.1	Diversität angebotener Energieträger	4
				1.2.2	Nachfrage nach ökolog. bedenklichen E-Trägern	5
				1.2.3	Emissionen von Energie, Industrie und Gewerbe	6
		1.3	WÄRME	1.3.1	Diversität angebotener Raumwärmeträger	7
				1.3.2	Nachfrage n. ökol. bedenklichen Raumw.-trägern	8
				1.3.3	Emissionen der Raumheizungen	9
2	NATUR (IMMISSION)	2.1	GEGEBENHEITEN	2.1.1	Orographie	10
				2.1.2	Biomasse	11
				2.1.3	Klimatisch-meteor. Gegebenheiten, Kesselsituation	12
		2.2	UMWELT- BELASTUNG	2.2.1	Schadstoffimmissionen im Tages- und Jahresgang	13
				2.2.2	Vegetations-, Gebäude- und Bodenschäden	14
				2.2.3	Verzögerung, Synergismen, Sekundärschäden	15
2.3	BELASTUNGS- REDUKTION	2.3.1	Lufterneuerung	16		
		2.3.2	natürliche Senken für Schadstoffe, Filtration	17		
3	MENSCH (WIRKUNG)	3.1	GESUNDHEIT	3.1.1	physische Gesundheit	18
				3.1.2	Toxikologie (=etwa Gefährlichkeit der Schadstoffe)	19
				3.1.3	intra pollution (Schadstoffe in geschloss. Räumen)	20
		3.2	LEBENSQUALITÄT	3.2.1	materielle Lebensqualität	21
				3.2.2	soziale Lebensqualität	22
				3.2.3	psychische Gesundheit	23
		3.3	NORMEN & VERHALTENS- WEISEN	3.3.1	Denkweisen, Leitbilder, soziales Verhalten	24
				3.3.2	fehlende Akzeptanz, Bürgerinitiativen	25
				3.3.3	polit. Durchsetzbarkeit von Schutz.-maßnahmen	26
4	POLITIK UND WIRTSCHAFT (RAND- BEDINGUNGEN)	4.1	GEMEINWESEN	4.1.1	Haushaltsbelastung, Sozialleistungen	27
				4.1.2	Richtlinien, Institutionen, Normen	28
				4.1.3	Öffentlichkeitsarbeit, Bildung, Partizipation	29
		4.2	WIRTSCHAFT	4.2.1	technologischer Entwicklungsstand	30
				4.2.2	Wettbewerbsfähigkeit, betriebswirtschaftl. Lage	31
				4.2.3	volkswirtschaftliche Schäden, Tourismuseinbuße	32
				4.2.4	Menge und Preise von Grund- und Rohstoffen	33
				4.2.5	Einsparungs- und Recycling-Möglichkeiten	34
		4.3	FLÄCHEN- NUTZUNG, RAUMPLANUNG	4.3.1	Anteil & Anordn. v. Siedlungsfl.; Wohnlage, -dichte	35
				4.3.2	Anteil & Anordnung von Gewerbe- & Industriefl.	36
				4.3.3	Anteil & Anordnung v. Verkehrsfl. (fließ. & ruhend)	37
				4.3.4	Anteil & Anordnung von Grünflächen	38

Abb. 1: Luftreinhaltung in der Stadtoökologie – Parameternaufstellung.

3. Die Wechselwirkungen

Entsprechend den stark unterschiedlichen Typen der Variablen aus den Bereichen Luftchemie, Wirtschaft, Soziologie etc. wird im folgenden eine halbquantitative Beschreibung der Wechselwirkungsstärken bevorzugt: Wirkungen von „sehr schwach“ bis „sehr stark“ entsprechen den Zahlen 1 bis 5, wobei positive oder negative Vorzeichen möglich sind.

Eine Harmonisierung aller auftretenden Wirkungsstärken in Quer- und Längsrichtung sowie die Beschränkung auf die Elementarschritte von Wirkungen führte zur Aufstellung der Matrix in Abb. 2. Diese Matrix gibt die Wirkungsstärke von einem Parameter in einer bestimmten Zeile zu einem Parameter in einer anderen bestimmten Spalte an.

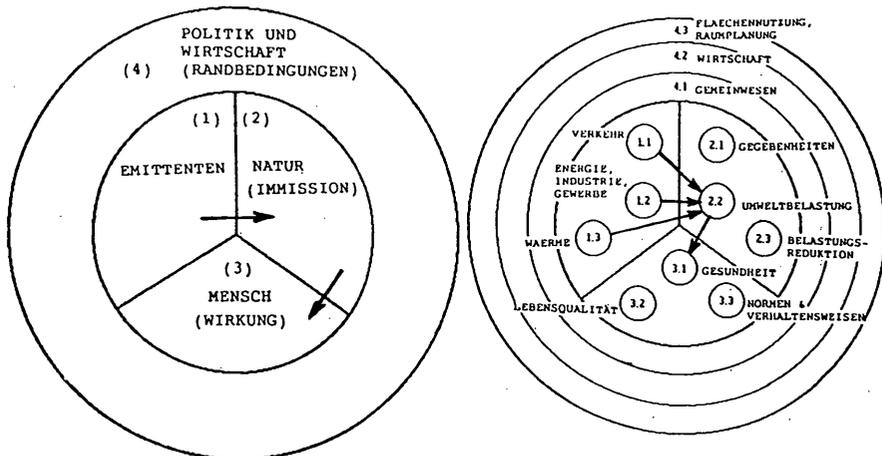


Abb. 3: Übersicht über die Haupt- und Zwischenebenen samt den wichtigsten Wirkungen: Emission -> Immission -> Wirkung auf den Menschen.

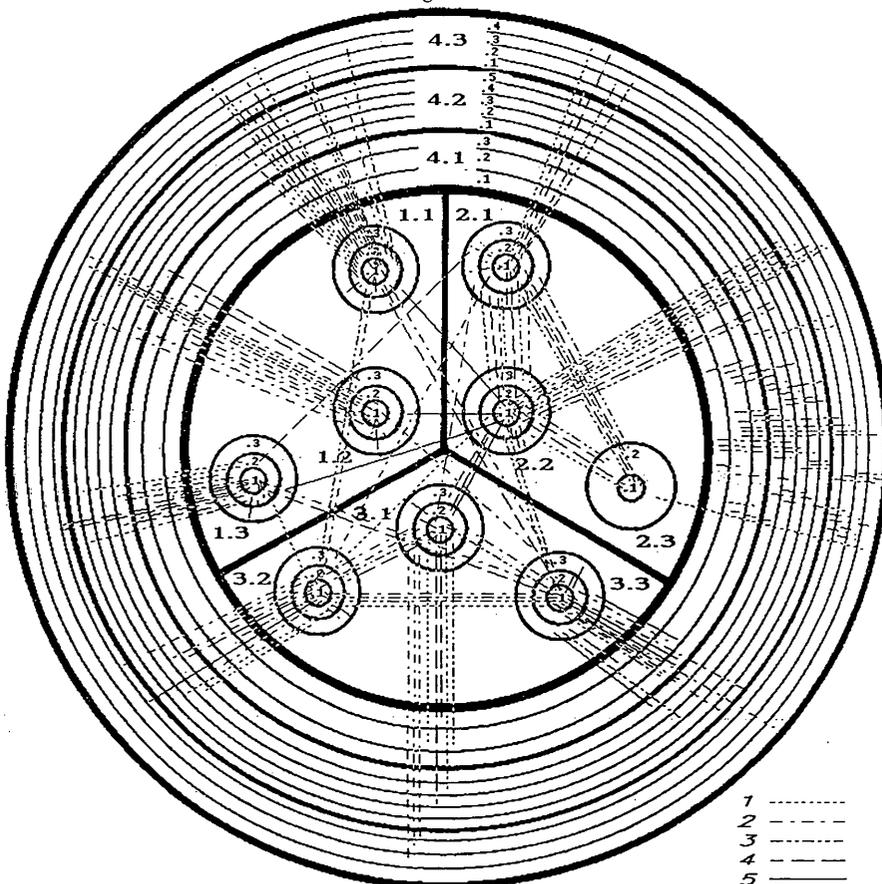


Abb. 4: Graphische Darstellung aller Wirkungen. Die Strichdicke entspricht den jeweiligen Wirkungsstärken, welche in der Matrix aus Abb. 2 als Zahlen dargestellt sind.

Es lassen sich aus dieser Matrix auch indirekte Wirkungen und Wirkungsketten über mehrere Zwischenstufen (z. B. 1.1.1 → 1.1.2 → 4.3.3 → 1.1.1 oder 4.1.3 → 3.3.1 → 1.1.2 → 1.1.3) sowie Regelkreise mit positiver oder negativer Rückkopplung ablesen. Erstere haben eine aufschaukelnde (destabilisierende) Dynamik zur Folge, die für die Verstärkung von getroffenen Maßnahmen in die gewünschte Richtung von Vorteil sein können. Sie prägen das zeitliche Verhalten des Gesamtsystems entscheidend.

Wirkung von Maßnahmen Verkehrsangebot (OEV) + 5%

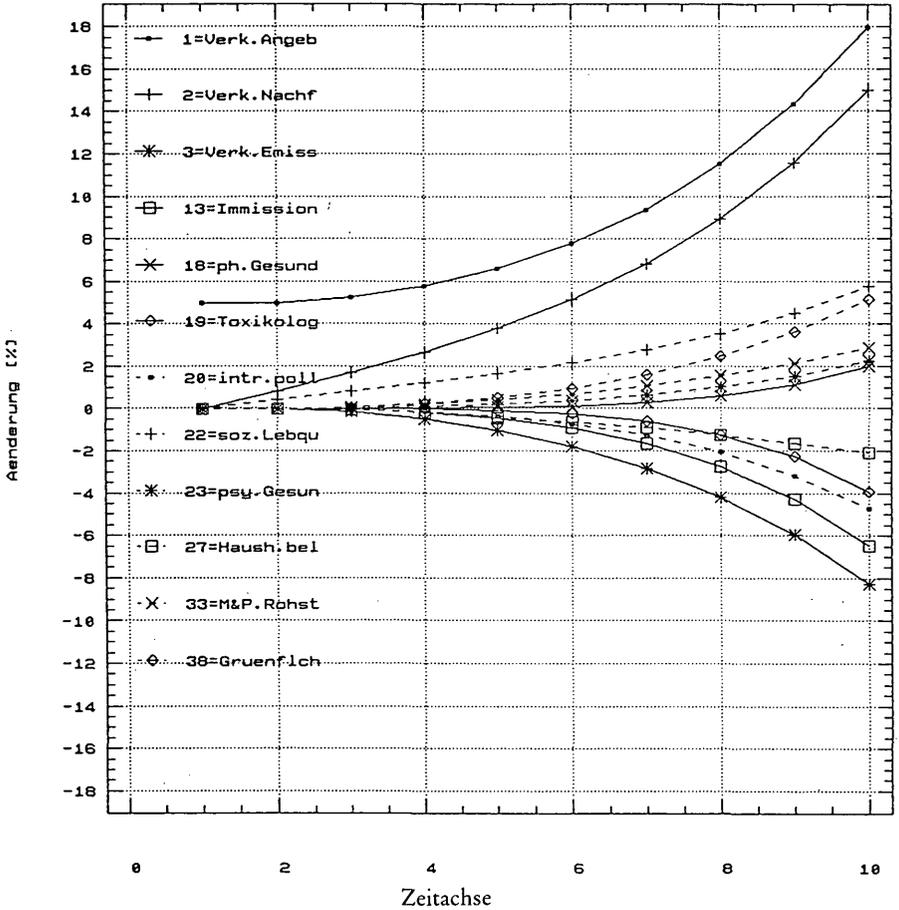


Abb. 5: Auswirkung von Förderungsmaßnahmen im Bereich des öffentlichen Verkehrs.

4. Simulation einfacher Maßnahmen

Bezeichnet man nun den gegenwärtigen Zustand des aus 38 Parametern bestehenden Gesamtsystems durch einen Vektor von 38 Zahlen mit dem Wert Null und stellt eine Änderung des Ist-Zustandes durch die prozentuelle Änderung der betreffenden Variablen dar, so hat man ein einfaches Mittel zur mathematischen

Beschreibung. Man kann den solcherart definierten Vektor mit der Matrix gemäß den üblichen Regeln multiplizieren und erhält dadurch den neuen Zustand nach einem gewissen Zeitschritt, in dem alle Wirkungen eintreten. Dieser neue Zustandsvektor kann nun seinerseits wieder zur Multiplikation mit der Matrix verwendet werden. So kann schrittweise der Effekt von Maßnahmen simuliert werden, welche dem Wirkungszusammenhang aufgeprägt werden.

Also:

$$\text{Zustandsvektor}_{(t+1)} = \text{Zustandsvektor}_{(t)} + (\text{Zustandsvektor}_{(t)} \times (\text{Bewertungsmatrix} \times \text{Eichkonstante}))$$

Wirkung von Maßnahmen

Verkehrsangebot (OEV) + 5%

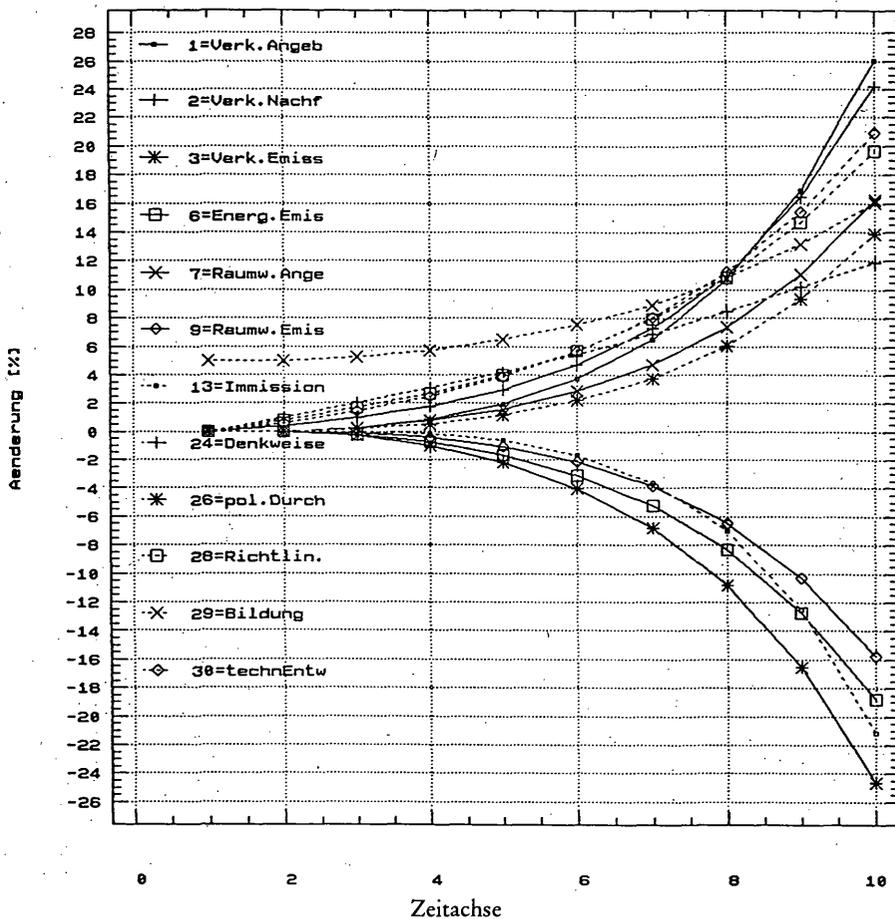


Abb. 6: Auswirkungen ökologisch sinnvoller Verbesserungen im Bereich Öffentlichkeitsarbeit, Bildung und Partizipation.

Als praktikabel für die Eichkonstante erweist sich der Wert 0,04. Eine solche schrittweise Berechnung kann etwa zehnmal durchgeführt werden, spätestens dann überwiegen Unzulänglichkeiten.

Ein erstes Beispiel sei die Erhöhung des Angebotes an öffentlichen Verkehrsmitteln in einer Stadt um 5% (Abb. 5). Das positiv rückgekoppelte System Verkehrsmittelangebot – Verkehrsmittelnachfrage entfacht seine Wirkung: Beide nehmen am meisten von allen Parametern zu, sie sind durch die beiden oberen Linien im Diagramm gekennzeichnet. Die gewünschte Wirkung ist die Immissionsenkung, weiters wird auch die psychische Gesundheit wegen des gesteigerten Erholungswertes der Stadt stark verbessert.

Verändert man einen Parameter aus dem sozialen Bereich (Öffentlichkeitsarbeit, Bildung, Partizipation), so ergibt sich ein viel dramatischeres Bild der erwünschten Änderungen (Abb. 6). Nachdem dieser Parameter in viel mehr Rückkopplungsschleifen eingebettet ist, entfacht er eine viel stärkere dynamische

Wirkungsvergleich von sechs Maßnahmen

Auf die Immission (I) & Gesundheit (G)

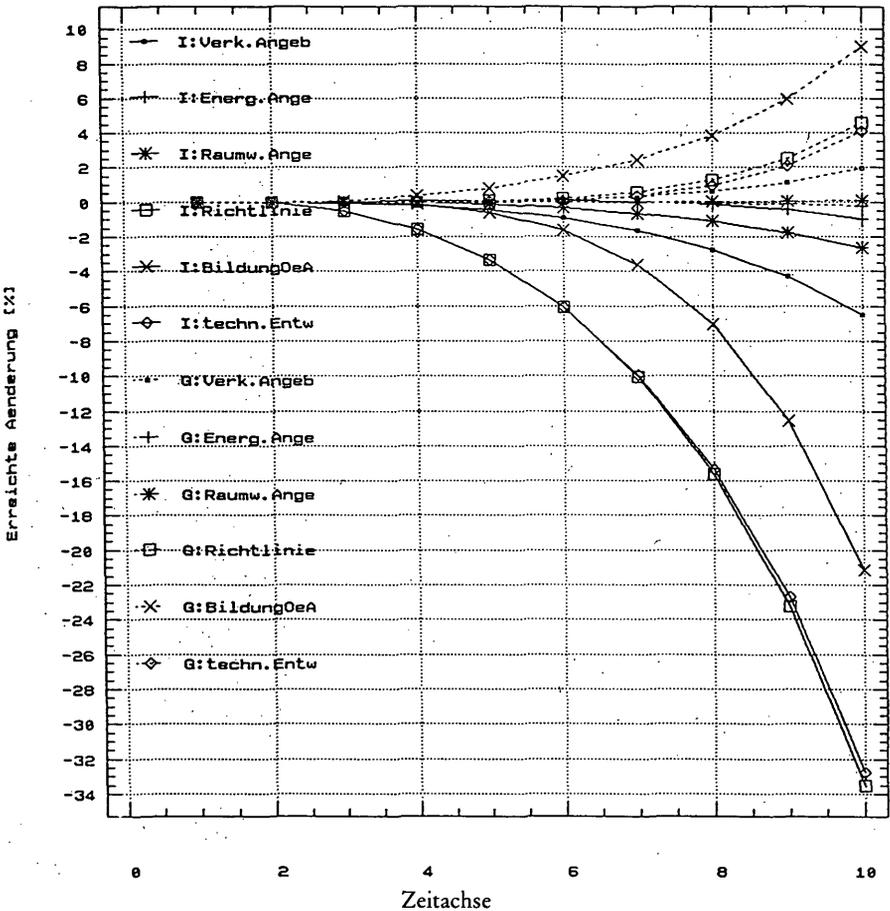


Abb. 7: Vergleich der Wirkungen der sechs im Text erwähnten Maßnahmen auf Immission und Gesundheit.

Entwicklung. Die Senkung der Immission ist hier dreimal so stark wie im vorigen Beispiel. Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß Zahlenangaben hier eher halbqualitativen Charakter haben und befruchtend auf das eigene Denken wirken sollen, aber von einem sachkundigen Leser natürlich im Lichte seiner eigenen Erfahrungen überprüft werden sollen.

In Abb. 7 werden sechs verschiedene Maßnahmen in ihrer Wirkung auf die Immission und die Gesundheit verglichen. Das Ausmaß der gesetzten Änderung beträgt jeweils 5% gegenüber dem Anfangszustand.

- * Erhöhung des Verkehrsangebotes
- * Verbesserung des Angebotes für Energieträger
- * Verbesserung des Angebotes von Raumwärmeträgern
- * Verschärfung der Richtlinien im ökologischen Sinne
- * Verbesserung der Bildung und der Öffentlichkeitsarbeit
- * Förderung der technischen Entwicklung

Notwendige Maßnahmen für das Ziel - 5% Reduktion der Immissionen

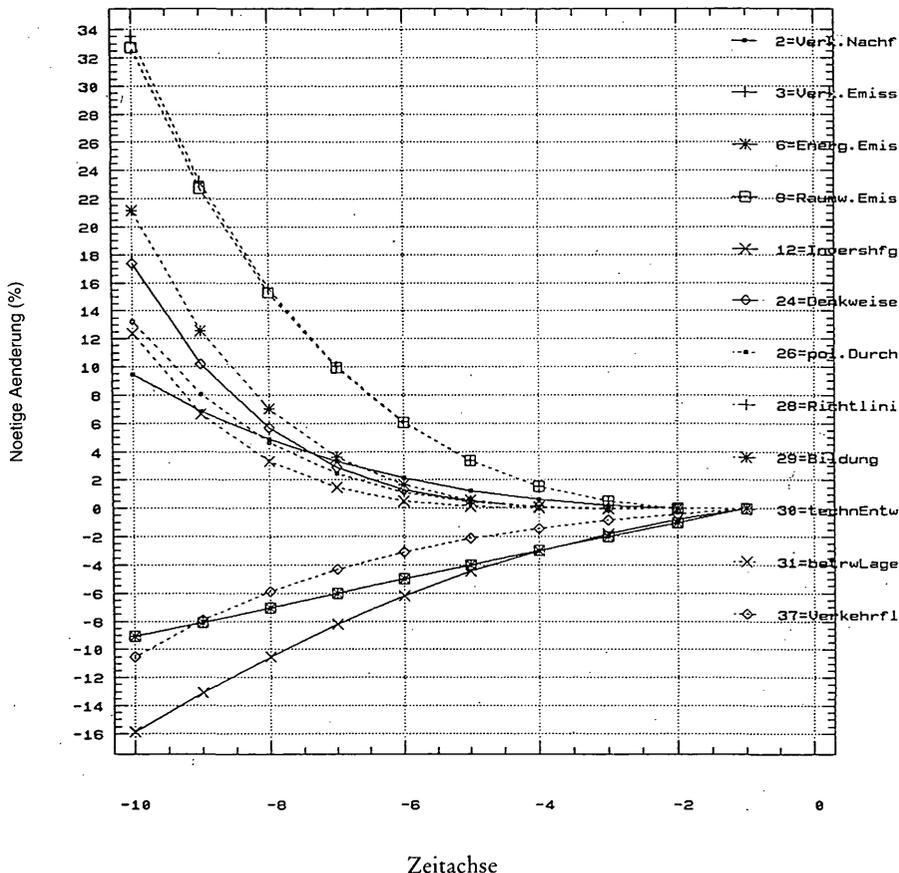


Abb. 8: Erfordernisse für die Zielvorgabe einer fünfprozentigen Reduktion der Immissionen.

Es zeigt sich, daß die Immissions- & Gesundheitssituation am besten durch Verbesserung der Schul- und Erwachsenenbildung in der Öffentlichkeit, durch eine Verschärfung der gesetzlichen Richtlinien sowie durch Erhöhung des wissenschaftlich-technischen Know-how's gefördert werden kann.

Umgekehrt ist es auch möglich, mit Hilfe der transponierten (d.h. an der Hauptdiagonale gespiegelten) Matrix die notwendigen Maßnahmen für ein gestecktes Ziel zu berechnen. Die Wirkungen durchlaufen die Pfeile in Abb. 4 also gleichsam nicht vom Schaft zur Spitze, sondern in umgekehrtem Sinne. Für eine gewünschte Reduktion der Immissionen zeigt Abb. 8 diejenigen Parameter, deren Veränderung am ehesten zielführend erscheinen: Verschärfung der Richtlinien, Erhöhung des technologischen Entwicklungsstandes, mit etwas Abstand folgen Verbesserung der Bildung sowie die Änderung der Denkweise der Menschen im ökologischen Sinne.

6. Schlußfolgerungen

Die graphische und mathematische Darstellung dieser Wirkungszusammenhänge soll dazu dienen, sich in prägnanter Form vor Augen halten zu können, in welcher Weise sich ein kompliziertes vernetztes System verhält. Die Resultate der Berechnung können einen mit Details beschäftigten Sachbearbeiter den größeren Zusammenhang vor Augen halten und ihn auf eventuell vergessene Einflüsse hinweisen. Zahlen geben in diesem Modell nur eine grobe Abschätzung an, die Wirkungsstärken in der Matrix können vom geeigneten Leser nach bestem Wissen selbst verändert werden und das gesamte Modell wegen seiner mathematischen Einfachheit leicht auf jedem PC zum Laufen gebracht werden.

Diese Überlegungen wurden als Projektarbeit für das Aufbaustudium „Technischer Umweltschutz“ an der Technischen Universität Graz im Jahre 1988 durchgeführt und sind hier nur stark verkürzt wiedergegeben.

Als Ergebnis aus der Matrixaufstellung (Abb. 2) und den Simulationsläufen läßt sich feststellen, daß nur ein Maßnahmenbündel Erfolg verspricht, dessen einzelne kurz-, mittel- und langfristig wirkende Komponenten aufeinander abgestimmt sind. Die Hauptemittenten „motorisierter Individualverkehr“ und „Raumwärmeversorgung“ sollen technologisch (kurzfristig) und raumordnungspolitisch, legislativ und per Öffentlichkeitsarbeit (langfristig) beeinflußt werden. Variablen wie „Denk- und Verhaltensweisen der Bevölkerung“ stellten sich als außerordentlich wirkungsmächtig heraus, wenn die Zeitspanne bis zur Entfaltung ihrer aufschaukelnden Wirkung überbrückt werden können.

Literatur

- VESTER, F. (1980): Sensitivitätsmodell, Frankfurt/Main, 1980.
PILCH, B., ASCHEMANN R. & AHAMER G. (1988): Luftreinhaltung in der Stadtökologie – Zusammenhänge im Bereich der Luftreinhaltung und abgeleitete Maßnahmen. Projektarbeit im Rahmen des Aufbaustudiums Technischer Umweltschutz, Technische Universität Graz, 110 Seiten, 1988.

Anschrift der Verfasser: Mag. Birgit PILCH, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Graz, Schubertstraße 51, 8010 Graz, Dipl.-Ing. Ralf ASCHEMANN, Wissenschaftsladen Graz, Elisabethstraße 32, A-8010 Graz, Dipl.-Ing. Gilbert AHAMER, Reaktorinstitut Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Graz.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [122](#)

Autor(en)/Author(s): Pilch Birgit, Aschemann Ralf, Ahamer Gilbert

Artikel/Article: [Luftreinhaltung in der Stadtökologie - eine Systemanalyse. 19-27](#)