

# **Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit von Gebäudeverstärkungsmaßnahmen zur Erdbebenertüchtigung**

M. Bostenaru Dan

Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb, Universität Karlsruhe

## **Zusammenfassung**

Die Reduzierung seismischer Risiken durch Verstärkung vorhandener Bauten zur Erdbebenertüchtigung ist Teil der Katastrophenvorsorge. Die Planung von Eingriffen in bestehende Bauwerke unterscheidet sich von der Neuplanung durch eine wichtige Randbedingung: das vorhandene Bauwerk ist Grundlage für alle Planungs- und Bauleistungen. Soziale Aspekte spielen dabei eine besondere Rolle.

In dieser Arbeit wird ein strategisches Planungssystem für die Reduzierung des seismischen Risikos entwickelt. Dieses schliesst die Planimplementation mit ein und bezieht sich dabei auf ökonomische, soziale und verwaltungsbezogene Richtlinien. An der Umsetzung von Verstärkungsmaßnahmen sind verschiedene Akteure beteiligt. Die Kosten-Nutzen-Analyse wird nicht mit den gewöhnlichen Mittel des Nutzwertes erfolgen, sondern als eine multikriterielle Entscheidung. Es wird ein Rahmenwerk für eine Umgebung zur Auswertung der Informationen und Entscheidungsfindung und eine Methodik, die die Experten bei der Prioritätensetzung konzeptionell unterstützt, entwickelt. Die unterschiedlichen Instrumente, Ziele, Szenarien, die Interventionsebenen mit bestimmter Tiefe charakterisieren, werden mit einbezogen und in Kriterien für die Abwägung ausgedrückt.

## **Abstract**

The reduction of seismic risk due to retrofit of existing buildings is part of catastrophe prevention. The planning of interventions on given buildings differs from new planning through an important condition: the existing building is basis for all planning and construction performances. Social aspects play an important role, too.

In this work a strategic planning system for the reduction of seismic risk has been developed. This includes the implementation of the plan and refers therefore to economic, social and administrative guidelines. There are different actors implied in the realization of retrofit measures. The Benefit-Costs-Analysis will not be made with the usual utility value means, but as multicriteria decision. A framework for an environment of evaluation of the information and decision making as well as a methodology which supports the experts conceptually in the priority setting process will be developed. The different instruments, goals, scenaria which characterise intervention layers with certain depth, will be included and expressed as criteria for the appreciation of values.

## **Einführung**

Das Kerngebiet Bukarests, der Hauptstadt Rumäniens, ist charakterisiert durch eine Verflechtung der Bausubstanz: Bauten aus verschiedenen Epochen, mit unterschiedlichen Tragstrukturen, Alter, Zustand und Grösse stehen nebeneinander. Verstärkungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden wurden bisher nur selten durchgeführt. Das Konzept der Erdbebenertüchtigung, so wie die Fachleute es kennen, reduzierte sich meistens auf die Planung vor allem neuer, erdbebensicherer Gebäude. In den bereits durchgeführten Bestandsbewertungen wurde darauf verzichtet, die breite Palette der Gebäude des Vor-Stahlbeton-Zeitalters nach ihren Besonderheiten zu gliedern. Selbst die wenigen Ansätze, alte meist denkmalgeschützte Bauten zu konsolidieren, greifen im Regelfall auf die eine Lösung "Stahlbeton" zurück.

Diese Situation wird bald der Vergangenheit angehören. In den letzten Jahren zeichnet sich eine Verschiebung des Forschungsschwerpunktes in Richtung Erdbebenertüchtigung ab. Das Phänomen ist nicht singular. Überall in der Welt, selbst in Ländern, die nicht direkt von den immensen Verlusten durch Erdbeben betroffen sind, widmen sich immer mehr Wissenschaftler der schwierigen, aber spannenden Aufgabe der Sicherung von Bauten und der darin lebenden Menschen. Die Ansätze reichen von der Entwicklung von Gesamtmethoden bis hin zu detaillierten Eingriffen, und genau darin liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit: ein Konzept für ein Rahmenwerk zu entwickeln, in dem vereinzelte Instrumente, Szenarien, Aktionspläne integriert werden können. Der Überbegriff dieses Konzepts heisst "strategische Planung".

## Abwägungsmodell

Das Bau- und Entwicklungsvorhaben hat sich seit den 80er Jahren geändert. Zahlreiche Akteure, die unterschiedliche Interessen vertreten, sind daran beteiligt. In einer schematischen Darstellung können diese unter den Begriffen "Öffentlichkeit", "Experten" und "Betroffene" zusammengefasst werden. Die breite Öffentlichkeit wird durch die Wahrnehmung "bildlicher" Merkmale angesprochen. Die Experten bedienen verschiedene Planungs-, Simulations- und Bau"maschinen" als Werkzeuge um Bauoperationen umzusetzen. Den von der konkreten Baumaßnahme Betroffenen wird Partizipation unter Einbezug verschiedener Methoden angeboten.

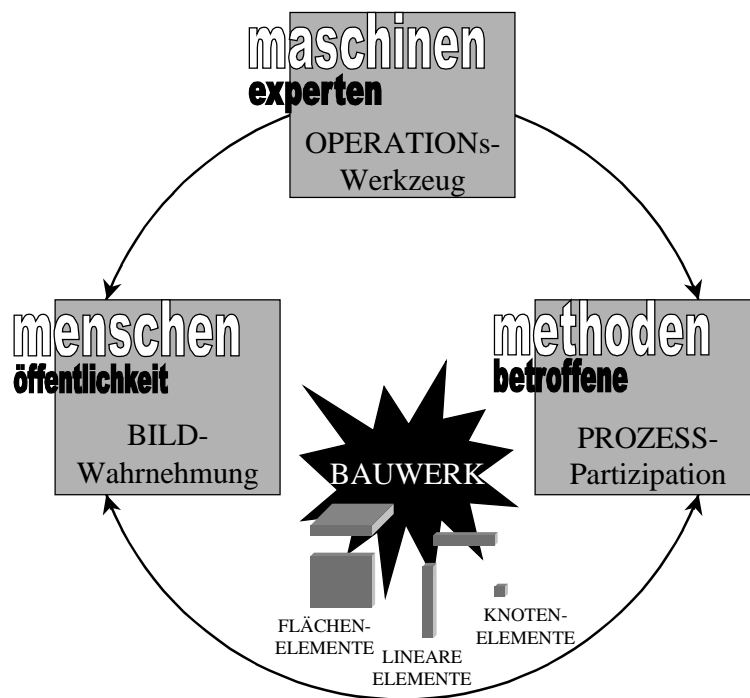


Abb. 1: Akteure und Verfahren bei einer Ertüchtigungsmaßnahme – angepasst nach Fingerhut und Koch (1996).

Spätestens durch den Einbezug dieser Akteure wird die Entscheidung über die geeignete

Ertüchtigungsmaßnahme zu einer multikriteriellen Gruppenentscheidung und ersetzt damit die gewöhnliche Nutzen-Kosten-Abwägung. Die Aufgabe der multikriteriellen Entscheidungsmethodik ist die Ordnung der Optionen anhand mehrerer Kriterien. Es wurden bisher, auch auf dem Gebiet der räumlichen Planung, verschiedene Ansätze zur Technik der multikriteriellen Entscheidung entwickelt. Jedoch basieren die meisten auf der von mathematischen Mitteln unterstützten Anordnung von Kriterien anhand von Gewichten. In dieser Arbeit wird angestrebt eine andere Art entscheidungstechnischer Problemstellungen zu lösen. Es handelt sich hierbei um das Abwägungsmodell bei multikriteriellen Entscheidungen, das von Strassert (1995) entwickelt wurde.

In diesem Modell werden bis zu der letzten Abwägungsstufe die Kriterienausprägungen in der Sachebene gehalten. Verglichen werden nicht deren gewichtete, normalisierte Aufsummierungen, sondern die Vorteile und Nachteile jeder Option werden gegenübergestellt. Dadurch entsteht ein interaktives Abwägungsverfahren, in dem die relative Bedeutung der Kriterien stets berücksichtigt wird.

Dieses Verfahren eignet sich für den Fall, dass die Baumaßnahme Erdbebenertüchtigung ist, besser als die traditionelle Nutzwertmethode. Der "Nutzen" der Erdbebenertüchtigung ist, wenn es um Menschenleben und nicht mehr um finanziell ausdrückbare Werte geht, nicht zu gewichten und zu normalisieren.

## Charakterisierung des Systems

Ein System ist sowohl eine Gesamtheit von materiellen oder idealen Elementen, die in einer Interaktionsbeziehung zu einander stehen und wie ein organisiertes Ganzes funktionieren, als auch die Organisationsart eines Prozesses, einer Aktivität.

Das systemische Verständnis ist ein Ergebnis des strategischen Verständnisses im Rahmen der Planung. Da an Bauoperationen systematisch herangegangen werden muss, soll ein optimales System für jedes Kriterium gefunden werden. Das kybernetische Analyse-Synthese Herangehen setzt die Bildung eines Systems nach seiner Beschreibung unter Benutzung der besten Erkenntnisse voraus. Sie setzt auch Modellbildung voraus. Es gibt verschiedene Modelle im Hinblick auf ihrem Gültigkeitstypus. Die hier gewählte Entwicklungsmodellkategorie ist das Dynamikmodell (Verhaltenmodell). Es ist ein mathematisches Modell (Sandu, 1994).



Abb. 2: Stufen der Akzeptanz einer Veränderung in der Umwelt.

Bei einer solchen Betrachtungsweise wird davon ausgegangen, dass Wertesysteme verschiedener Personen zu unterschiedlicher Maßnahmenakzeptanz führen können[4] und verschiedene Entwurfsstufen für die Zustimmung nötig sind. Die am meisten entwickelten Systeme sind mittels ihrer Entropie, Rückkopplung und Selbstregelung anpassungsfähig. Das Gleichgewicht eines Systems ist dadurch sichergestellt, dass jede Änderung neue Funktionen des Systems auslöst. Manche Funktionen dienen der Erhaltung des aktuellen Systemzustandes, während andere eine Änderung anstreben. Ein flexibles System erlaubt durch seine Vielfalt von Stabilitätszuständen die positive Aktion solcher Funktionen. Seine Entropie ist hoch (Sandu, 1994).

Ein Bauwerk mit seinen Bewohnern bildet ebenfalls ein System. Jede neue Intervention benötigt erheblich mehr Zeit zum Erklären als Nutzen, um akzeptiert zu werden. Das sogenannte „Bild“ kennzeichnet die Stufe der Gewohnheit. In systemtheoretischen Begriffen könnte es in folgender Graphik abgebildet werden:

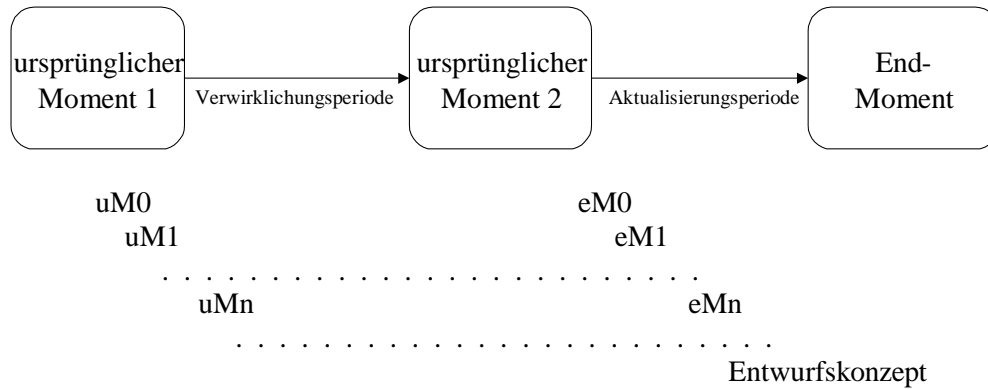


Abb. 3: Stufenweises Entwerfen, um Feedback einbeziehen zu können (Sandu, 1994).

Systemtheoretische Ansätze können jenseits soziologischer Aspekte auch für die rein konstruktive entwerferische Betrachtungsweise angewandt werden. Mit wenigen Ausnahmen hat jede Verstärkungsmaßnahme Auswirkungen auf das gesamte baulynamische Verhalten des Gebäudes. Eine Reihe von Simulationen ist notwendig, um zu entscheiden, wodurch die ideale Antwort auf die zu erwartenden Beanspruchungen im Fall eines Erdbebens zu erreichen ist.

Bauten können auf viele Arten „erdbebensicherer“ für ihre Bewohner werden. Wenn in die Struktur kein Eingriff mehr möglich ist, sind Alternativstrategien nötig. Dazu zählen Nutzungsänderung, aber auch Verbesserungen auf der Ebene der architektonischen Elemente (Pao et al., 2001). Die Maßnahme muss außerdem von den Bewohnern unterstützt werden.

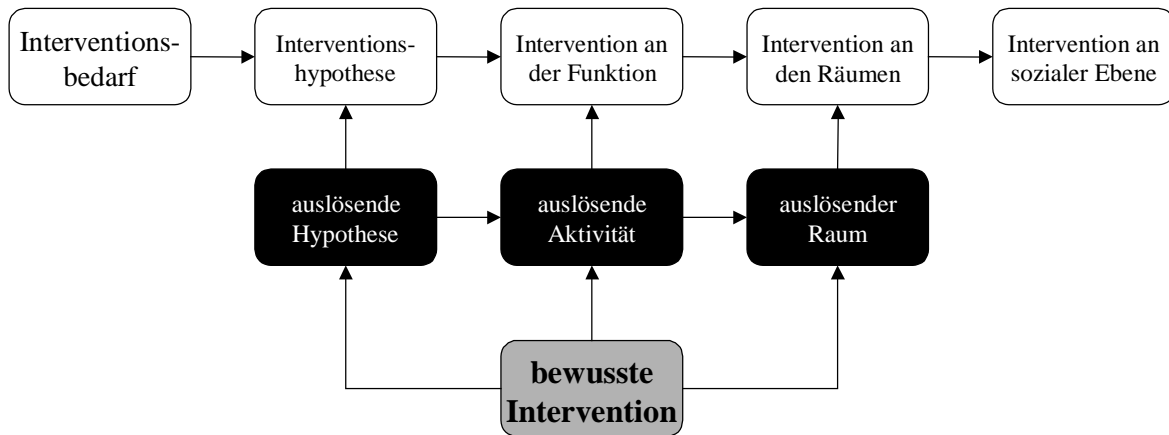


Abb. 4: Interventionsreihe an einem bestehenden Bauwerk.

## Strategische Planung

Die strategische Planung ist eine neue Art des Entwerfens neuer Strukturen. Dabei wird das Prozessartige beim Entstehen eines Bauwerks berücksichtigt. Statt alle Teilgebiete in der gleicher Detaillierungsstufe zu bearbeiten, werden durch die Planungsstrategie Interventionsebenen miteinander verbunden. Es wird zwischen alleinstehenden Merkmalen und homogenen Zonen unterschieden, zwischen Kanten und Polarisierungszentren, um die Sprache von Lynch (1960) zu verwenden. Intensivgebiete stehen neben Gebieten, die lediglich global umschrieben werden. Diesen werden die entsprechenden Operationen, wie Aktionspläne, Modellentwürfe oder Demonstrationen, zugeordnet. Zum Instrumentarium zählen verschiedene Arten von Plänen, verschiedene Mittel der Bildformung und der Konsensbildung.

Ein besonderer Schwerpunkt des strategischen Planungssystems liegt in der Strukturierung der Schnittstellen zwischen verschiedenen Planungsebenen, was die Prioritätensetzung bei der Umsetzung der Verstärkungsmaßnahmen zur Erdbebenertüchtigung erleichtert. Die oberste Ebene entspricht der Auswahl von Gebieten. Auf dieser Ebene würde die Prioritätensetzung wie in der allgemein anerkannten HAZUS 99 (2000) Methode erfolgen. Die mittlere Ebene entspricht der Auswahl von Gebäuden, die für Pilotentwürfe, anhand von voraussehbarer Ausstrahlungskraft der Ansätze, geeignet wären. Gebietsanalyse unter Verwendung von GI-Systemen wird gegenwärtig an der Universität Karlsruhe (Baur et al., 2001) entwickelt. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Auswahl von Ertüchtigungsstrategien für die untere Ebene: das Gebäude selbst.

Die Ebenen selbst bilden jeweils räumliche Datenbanken. Solch eine räumliche Datenbank ist als ein gewisses Modell der realen Welt zu verstehen. Für jede Ebene werden die räumlichen Informationen nach der klassischen GIS Methode in Daten-Layer organisiert. Jedoch bietet sich für den Komplex der Ebenen eine andere Annäherung an Malczewski (1999). Die Ebenen können, aufgrund der unterschiedlichen Maßstäbe, nicht mehr als aufeinander gestapelte Layer verstanden werden. Bei den unteren zwei Ebenen handelt sich jeweils um einen "Zoom" eines ausgewählten Elementes der darüberliegenden Ebene.

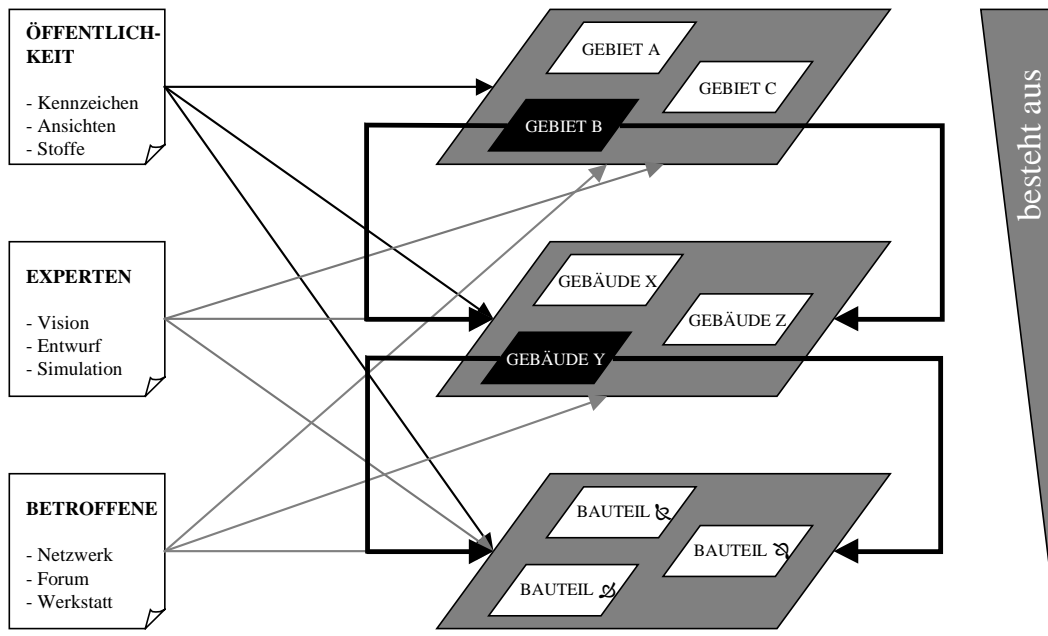


Abb. 5: Strategische Planungs- und Interventionsebenen mit Darstellung ihrer Elemente.

Die Art der Strukturierung der Betrachtungsebenen in einer urbanen Zone bildet die Grundlage für strategische Planungsansätze. Mathematisch gesehen kann von einem objektorientierten Ansatz gesprochen werden. Die Elemente (Objekte) werden entsprechend den Operationen, die an ihnen durchgeführt werden, definiert. Jede Ebene ist ein aus getrennten, interagierenden Elementen bestehendes System. Die Stadt besteht aus Zonen, die Beziehungen zueinander aufweisen. Die Zonen bestehen aus Gebäuden, die ebenfalls gegenseitig in Beziehung stehen. Und schließlich besteht jedes Bauwerk aus interagierenden Bauteilen.

Ein paralleles Verhältnis von Programmen und Zielen, Verfahren und Situationen soll den ständigen Einbezug neuer Ideen/Daten/Erkenntnisse ermöglichen. Dazu dient auch Modularisierung der Planungseinheiten.

Die Bauteile wurden für die weitere Verwendung in der Kostenschätzungsmethodik in "punktuelle", "lineare" und "Flächen-"Elemente klassifiziert (Bostenaru Dan, 2001).

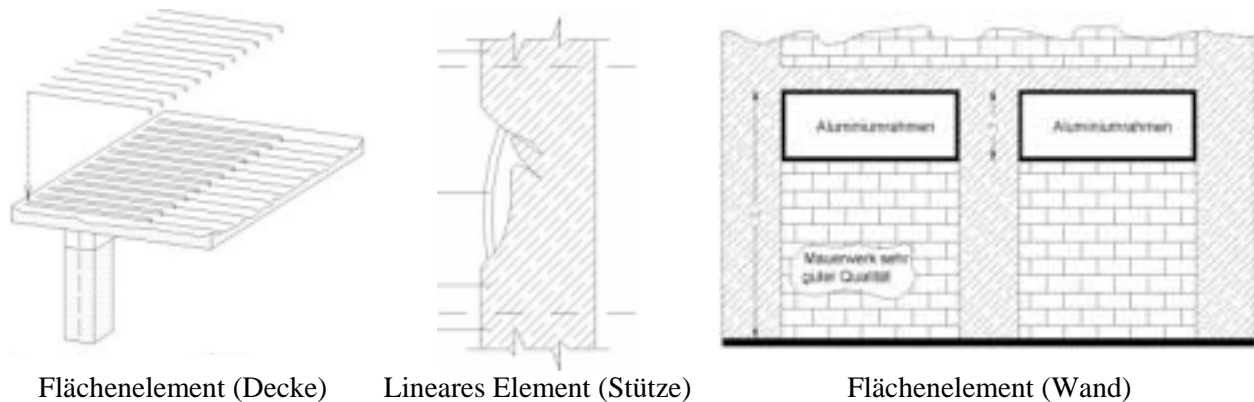


Abb. 6: „Ertüchtigungselemente,, – geändert nach Bourlotos (2001).

## Grundkonzept der Strategie

Ausgegangen wird von einer holistischen Annäherung an das Katastrophenmanagement. Dies berücksichtigt sowohl die natur- und sozialwissenschaftlichen Grundlagen als auch die Ingenieurmaßnahmen in einer übersektoriellen Weise. Kapazitäten und Schwächen gegenüber den Naturereignissen werden abgeschätzt, und es werden Maßnahmen entwickelt, um die Schwächen zu beseitigen und die Kapazitäten zu verstärken. Statt allen Teilgebieten gleiche Bedeutung zu verleihen und sie dementsprechend zu bearbeiten, verbindet die Planungsstrategie Interventionsebenen miteinander und weist Intensivgebiete aus, für die detaillierte Lösungsvorschläge gemacht werden, während andere Gebiete global umschrieben werden. Vielfalt der Bausubstanz, Untersuchungsmöglichkeiten, Dringlichkeit der Maßnahmenergreifung sind einige der Kriterien, wonach die Prioritäten für die Tiefe der Planung für ein Gebiet oder eine Klasse von Gebäuden gesetzt werden. In detaillierten Demonstrationsentwürfen wird eine Auswertung mit einem computergestützten Informationstool gemacht, wodurch die Gesamtkosten, die Nutzungsausfälle, die neuen und alten Gebäudedaten usw. dokumentiert und laufend aktualisiert werden können. Untersuchung der Bedingungen für verschiedene Finanzierungsprogramme und Alternativlösungen mit Kosten-Nutzen-Vergleich sind die weiteren Schritte in diesem Fall.

In der Periode des Ceausescu-Regimes wurden 1977-1989 Gebäude von ungefähr einem Fünftel der Stadtfläche südlich der Dâmbovita abgerissen. Die letzten zehn Jahren haben sich als eine doch zu kurze

Zeitspanne erwiesen, um die Wunden im Bewusstsein der Bevölkerung zu heilen. Obwohl das Kerngebiet nur geringfügig von diesen Maßnahmen betroffen war, sind auch hier die Bewohner sensibilisiert. Jede Umzugsmaßnahme wird zunächst misstrauisch aufgenommen. Durch ungeklärte Eigentumsverhältnisse und die daraus resultierenden verschiedenen Intentionen der neuen Eigentümer wird jede Intervention an den Gebäuden zusätzlich erschwert oder sogar verhindert.

Staatliche Unterstützung zur Ertüchtigung der Bauten wird nur in sehr bescheidenem Rahmen gewährleistet. Sie begrenzt sich auf einige ausgewählte Bauten, die besonders gefährdet oder kulturell repräsentativ sind. Ausserdem liegt die Wiederholungsperiode von Starkbeben in Rumänien bei dreissig Jahren, was die Gefährdung in der Wahrnehmung der Bevölkerung verblassen lässt. Auch sind viele der Bauten in kollektivem Eigentum, was die Umsetzung einer Massnahme, die das gesamte Gebäude betrifft, nur schwer möglich macht. Daher erweist es sich als nötig, öffentliche Ideen zu bilden, die Grundlage für die Entstehung lokaler Partnerschaften sind, die sich gemeinsam an der Umsetzung von Ertüchtigungsmaßnahmen beteiligen und sich gemeinsam um Unterstützung bemühen.

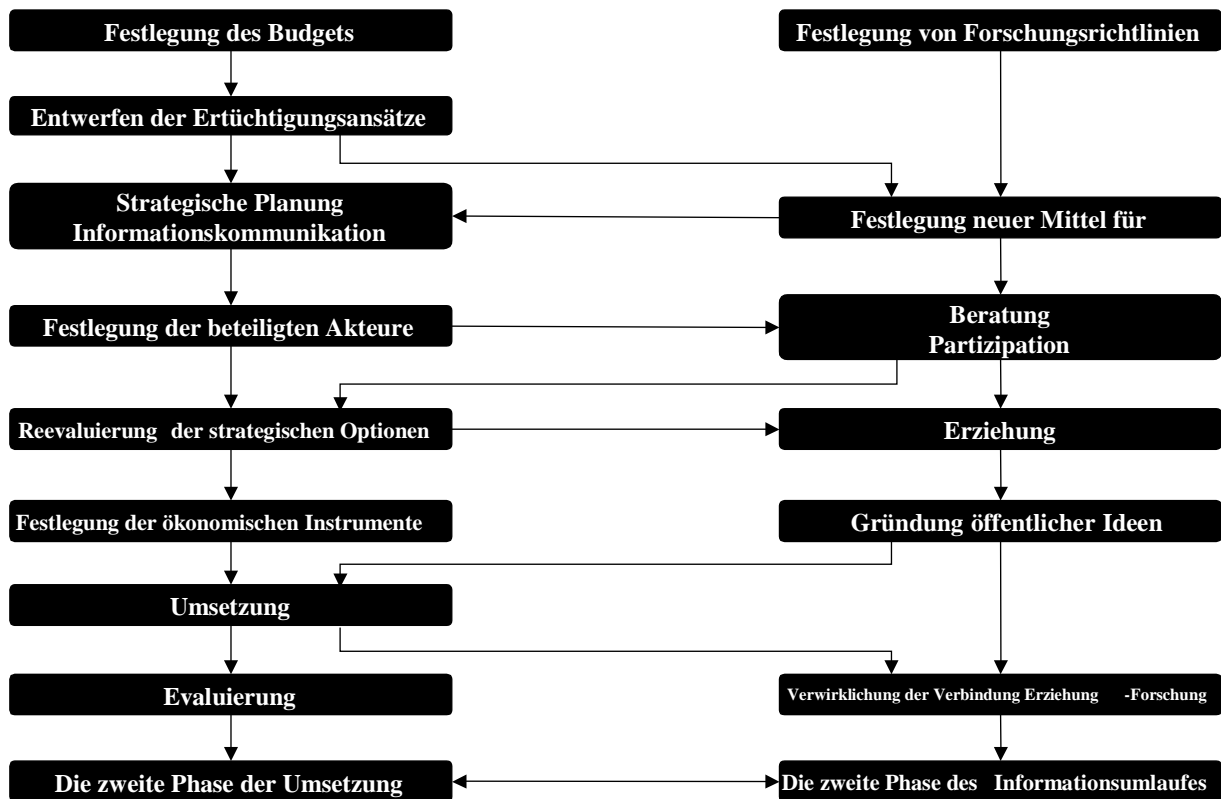


Abb. 7: Mögliches Szenario für eine von den Bewohnern getragene Maßnahmenumsetzung.

## Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit von Erdbebenertüchtigungsmaßnahmen entwickeln sich hauptsächlich in zwei Richtungen. Es muss eine zuverlässige Methode entworfen werden, um die anfallenden Kosten abzuschätzen. Diese Untersuchungen sind nicht Teil dieses Beitrags. Der „Nutzen“ solcher Maßnahmen muss auch geschätzt werden können. Hier wurde versucht, einen Überblick über einige der dabei zu berücksichtigenden Aspekte zu geben.

Gebäudeverstärkungsmaßnahmen zur Erdbebenertüchtigung sind nach völlig anderen Kriterien zu bewerten als sonstige Baumaßnahmen. Die „Nutzenskala“ der Bauerneuerung überschneidet sich mit der durch die seismische Ertüchtigung erreichten Rehabilitation, weist aber völlig eigene Werte und Kriterien auf. Um diese in Beziehung zu den gewöhnlichen Kostenwerten sowie sonstigen Modernisierungswerten oder Konservierungswerten zu stellen, müssen anstelle der Nutzwertanalyse spezielle Verfahren der multikriteriellen Entscheidungstechnik benutzt werden.

Die Gebäudeverstärkung muss an bereits bestehenden und vor allem bewohnten Bauobjekten erfolgen. Vor allem durch begrenzte finanzielle Mittel, aber manchmal auch spezielle lokale Situationen wie in Bukarest, ist die Umsetzung der Maßnahmen auf breite Unterstützung durch die Bevölkerung angewiesen. Derzeit ist die Methode der strategischen Planung auch für partizipative Baumaßnahmen am meisten verbreitet; mögliche Ansätze in diesem besonderen Fall wurden ebenfalls in diesem Beitrag untersucht.

## Literatur

- Fingerhuth, K. und M. Koch, 1996: Gestaltung zwischen Entwurf und Vereinbarung. Zur Verständigung über Funktion und Ästhetik bei der Planung und Realisierung von Neubauten. Planung und Kommunikation, Wiesbaden.
- Strassert, G., 1995: Das Abwägungsproblem bei multikriteriellen Entscheidungen. Buch, Frankfurt am Main.
- Sandu, A., 1994: Doctrine urbanistique. Hochschulsript, Bucuresti.
- Bostenaru Dan, M., 1999: Von der Partizipationsmodellen der 70er Jahre zu neueren Kommunikationsformen in Architektur und Städtebau. Hochschulsript, Karlsruhe.
- Pao, K., M. Elnimeiri und J. Shen, 2001: Reducing hazards due to architectural elements in buildings subject to earthquakes. Earthquake Resistant Engineering Structures III, Southampton.
- K. Lynch, 1960: The image of the city. Buch, Massachutes HAZUS 99 (2000): Natural Hazard Loss Estimation Methodology.  
<http://www.fema.gov/hazus/hazus99.htm>
- Baur, M., Y. Bayraktarli, F. Fiedrich, D. Lungu und M. Markus, 2001: EQSIM – a GIS-Based Damage Estimation Tool for Bucharest. Earthquake Hazard and Countermeasures for Existing Fragile Buildings, Bucharest.
- Malczewski, J., 1999: GIS and Multicriteria Decision Analysis. Buch, Toronto.
- Bostenaru Dan, M., 2001: Calculation of costs for seismic rehabilitation of historical buildings. Earthquake Resistant Engineering Structures III, Southampton.
- Bourlotos, G., 2001: Kostenermittlung in der Erdbebenertüchtigung alter Gebäude. Vertieferarbeit IMB, Karlsruhe.