

Konrad Bergmeister

Kausalität im Konstruktiven Ingenieurbau

1 Aufgaben des Konstruktiven Ingenieurbaus

Der Bauingenieur nennt sich im englischen Sprachbereich „civil engineer“. Damit ist seine Aufgabe zutreffender beschrieben als mit dem deutschen Titel Bauingenieur, der nur auf den Bau, nicht aber auf die Aufgabe, die Verantwortung für den Lebensraum und damit auf die Kausalität „Landschaft – Bauwerke – Räume – Menschen“, Bezug nimmt.

So war die Aufgabe des Bauingenieurs immer ein Dienst an der Gesellschaft. Seine Arbeit ist Teil der Gesellschaft und somit übernimmt er eine gesellschaftspolitische Verantwortung. Deshalb umfasst der Begriff des Kulturtechnikers weit besser die heutigen Aufgabengebiete des Bauingenieurs, nämlich die integrative Betrachtung der Bauwerke im Kontext der Natur, der Kunst und der Zeit.

Bauen war immer der sichtbare und erlebbare kulturelle Ausdruck künstlerischen Schaffens. Leonardo da Vinci steht exemplarisch für die Künstleringenieure des 15. und 16. Jahrhunderts. „Leonardo formulierte ganz bewusst“, schreibt der Historiker Eugenio Garin, „die Gebäude und Bauwerke müssen auf das Prinzip der Würde des Menschen zurückgeführt werden“. So ist der Künstler und Bauingenieur Erbauer eines Kosmos, in den der Mensch eingefügt ist.

2 Kausalität und der Begriff der Sicherheit

Der Begriff der Kausalität beschreibt das Maß des Zutreffens eines Zustandes, der entweder vorausgesagt oder rein zufällig auftritt. Nach Kant ist Kausalität ein Verstandesbegriff, mit dessen Hilfe die Erscheinungswelt geordnet und strukturierte Erfahrung ermöglicht wird. Die evolutionäre Erkenntnistheorie erklärt die Kausalität nahezu biologisch und unterscheidet zwischen regelmäßiger zeitlicher Aufeinanderfolge von Prozessen (post hoc) und kausaler Verknüpfung (propter hoc). Diese Auffassung steht nun im Widerspruch sowohl zur empiristischen Auffassung Humes als auch zum transzendentalphilosophischen

Verständnis von Kant. Konrad Lorenz zeigt hier einen ontologischen Unterschied in dem Energieübertrag auf, der bei kausalen Beziehungen immer besteht, während er bei rein zeitlichen Abfolgen von Prozessen nicht auftreten muss.

Im Konstruktiven Ingenieurbau geht man von einer Energieumwandlung aus, wobei sowohl die Energieart sich ändern kann (kinetische Energie zu Wärmeenergie), jedoch das Erhaltungsprinzip der Energie gilt. So wird auch zwischen den Einwirkungen (actio) und den Folgen, den Auswirkungen (reactio) auf ein bautechnisches System unterschieden, wobei die äußere Arbeit der inneren Formänderungsarbeit gleichzusetzen ist. Damit nun die Konstruktionen und Bauwerke entsprechend sicher sind, müssen die Einwirkungen, wie äußere Lasten, Eigengewicht etc., entsprechend kleiner als der vom Bauwerk aufbringbare Widerstand sein. Damit kommt der Begriff der Sicherheit in die Diskussion.

Im Bauwesen versteht man unter Sicherheit die qualitative Fähigkeit eines Tragwerkes, den Einwirkungen zu widerstehen. Natürlich kann ein Bauwerk nicht allen theoretisch möglichen Einwirkungen widerstehen, aber es muss den meisten der Einwirkungen in einem ausreichenden Maß widerstehen (ausgenommen akzeptierte Risiken, wie besondere Naturgefahren). Die Entscheidung, ob ein Bauwerk sicher ist oder nicht, muss mit einem quantitativen Maß erbracht werden. Die Zuverlässigkeit eines Tragwerkes ist ein solches quantitatives Maß. Diese wird in den gegenwärtig vorliegenden Bauvorschriften als Wahrscheinlichkeit interpretiert. Damit ist eine Aussage, ob ein Bauwerk sicher ist oder nicht, durch den Vergleich von Wahrscheinlichkeiten des Eintretens eines Versagens möglich. Die Sicherheit gilt dann als erbracht, wenn das vorhandene Risiko ein bei vergleichbaren Situationen von der Gesellschaft akzeptiertes Risiko nicht übersteigt.

Die in der technischen Literatur verwendete Darstellung des Risikos unter Berücksichtigung der Möglichkeit eines Schadensereignisses ist eng mit dem Begriff der Wahrscheinlichkeitsrechnung verbunden. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ist ein mathematisches Modell zur Beschreibung zufälliger Ereignisse. Sie dient im vorliegenden Fall dazu, basierend auf Häufigkeitsinformationen von Schadensfällen aus der Vergangenheit Rückschlüsse auf die zukünftige Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse zu ziehen. Den zufälligen Ereignissen, wie zum Beispiel Erdbebenbelastungen, werden Wahrscheinlichkeiten für ihr Eintreten zugeordnet.

Die Versagenswahrscheinlichkeit p_f einer Struktur kann aus der Zuverlässigkeit Z dieser Struktur bestimmt werden. Die Zuverlässigkeit und die Versagenswahrscheinlichkeit verhalten sich komplementär. Die Versagenswahrscheinlichkeit p_f einer Struktur lässt sich aus dem Tragwiderstand und aus den Einwirkungsgrößen ermitteln. Hierzu ist es notwendig, klare Grenzzustände zu definieren. Diese formulieren die Grenze zwischen der Erfüllung

und Nichterfüllung einer geforderten Bedingung, beispielsweise des Tragwiderstandes ausgedrückt in Form der Versagenswahrscheinlichkeit bzw. der Überlebenswahrscheinlichkeit.

Eine objektive Bewertung der Versagenswahrscheinlichkeiten ist daher nur dann möglich, wenn die Versagenswahrscheinlichkeiten mit vergleichbaren Modellen gerechnet wurden, so dass die zuvor erwähnten Effekte in gleicher Art und Weise in den Modellen enthalten sind. Die operative Versagenswahrscheinlichkeit ist jene theoretische Wahrscheinlichkeit, die dem Ingenieur als Vergleichsgröße und Entscheidungshilfe zur Quantifizierung von Aussagen über die Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Konstruktion dienen kann.

Im Allgemeinen erfolgt die Beurteilung der Zuverlässigkeit bestehender Tragwerke derart, dass die Einwirkungen E auf die Konstruktion mit ausreichender Wahrscheinlichkeit kleiner oder gleich den Widerständen R sein sollen:

$$E \leq R.$$

Der Tragwerkswiderstand R wird auf Basis analytischer klassischer mechanischer Modelle definiert. Diese physikalischen mechanischen Modelle erhalten jedoch in Folge streuende Größen – die Basisvariablen – als Eingangsgrößen. Die Einwirkungen E erhält man durch Summation der auf das Tragwerk wirkenden Lasten und unter Berücksichtigung von maßgebenden Lastkombinationen. Diese Einwirkungen sind ebenso wie die Widerstände als Zufallsvariablen zu behandeln.

Die wesentliche Schwierigkeit bei der Beurteilung eines Bauwerkes besteht darin, dass die Basisvariablen der Widerstandsseite und der Einwirkungsseite nicht deterministisch vorliegen, sondern statistisch verteilte und oftmals vom Raum und der Zeit abhängige Variablen sind. Die Definition der Anforderungen an die Konstruktion in Form eines Zuverlässigkeitsniveaus, der geforderten Versagenswahrscheinlichkeit, ist eine weitere Problemstellung.

Die Versagenswahrscheinlichkeit p_f lässt sich aus der Zuverlässigkeit $(1 - p_f)$ einer Konstruktion ableiten. Von Interesse ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit R kleiner als ein bestimmter Wert x ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass R kleiner x ist, lässt sich wie folgt darstellen:

$$P(R < x) = F_R(x).$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass $E = x$ ist, entspricht der Verteilungsdichtegröße der Einwirkung E an der Stelle x :

$$P(E = x) = f_E(x).$$

Ein Versagen tritt nun ein, wenn sowohl beide Gleichungen zutreffen. Wirtschaftliche Überlegungen können auch dazu führen, bestimmte Bauarten (z. B. Beleuchtungsmaste, Leitungsmaste) einer höheren Zuverlässigkeitsklasse und damit einer geringeren Versagenswahrscheinlichkeit zuzuordnen, wodurch verbesserte Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen erforderlich werden. Diese Differenzierung umfasst auch die zeitliche Komponente der Sicherheit bzw. der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses. Die kausalen Zusammenhänge zwischen Einwirkungen und Strukturantwort bzw. Widerstand der Bauwerke, hängen durch die Degradation der Werkstoffe mit der Zeit und den räumlichen Umwelteinflüssen zusammen. Dadurch erfährt die Kausalität im konstruktiven Ingenieurbau eine neue Komponente, wo die Prozesse nicht deterministisch, sondern hauptsächlich stochastisch ablaufen.

3 Kausalität technischer System und die Erkenntnis der Gefährdung

Der Mensch und seine Umwelt – natürlich als auch künstlich geschaffene – ist grundsätzlich immer Risiken bzw. Gefahren ausgesetzt. Den Zusammenhang zwischen einer Ursache und der Wirkung ist im Bauwesen nicht immer widerspruchsfrei. Im Bereich dieser Wirklichkeitswissenschaften, wie es auch das Bauwesen ist, kommen zu den kausalen Kriterien noch viele weitere dazu. Dabei sind die stochastischen Prozesse der Einwirkungen und der Abläufe genau so wichtig wie die menschlichen Handlungen.

3.1 Menschliche Handlungen – Restrisiko

Am Restrisiko sind überwiegend menschliche Handlungen an der Gesamtzahl der Schäden, der Sachschäden und der Personenschäden beteiligt. Eine zentrale Rolle bei dem Versuch, die menschlichen Handlungen als positive Ablaufkriterien zu realisieren, spielen folgende Fragestellungen:

Wurden alle Aspekte bei der betrachteten Situation berücksichtigt?

Ist das Wissen der handelnden Person ausreichend?

Hat die handelnde Person genügend Einsicht in die vorliegende Situation?

Kann die handelnde Person gewonnene Erkenntnisse auf neue Situationen übertragen?

Ist das Können der handelnden Person ausreichend?

Ist sich die Person über falsche oder fehlende Handlungen bewusst?

Den menschlichen Fehlhandlungen kann jedoch entsprechend ihres Auftretens mittels geeigneter Maßnahmen begegnet werden. Maßnahmen gegen menschliche Fehlhandlungen können sein:

Bereich	Maßnahme
Objektiv unbekannte Gefahren	Förderung der Grundlagenforschung
Subjektiv unbekannte Gefahren	Ausbildung – Veröffentlichung von schlechten Erfahrungen
Unberücksichtigte Gefahren	Definition von Verantwortlichkeit Definition von Kompetenzbereichen Bekämpfung von Sorglosigkeit Bekämpfung von Nachlässigkeit, Fahrlässigkeit und Ignoranz
Unzweckmäßige Maßnahmen, fehlerhafte Anwendungen	

Erste Zielsetzung der Beschreibung eines kausalen Prozesses im Bauwesen ist es, die objektiv bekannten Gefahren auch subjektiv zu erkennen und diese durch geeignete Maßnahmen abzuwehren. Für dieses Unterfangen ist ein rationales Entscheidungsmodell zu schaffen. Dieses Entscheidungsmodell muss Elemente der Gefährdungsanalyse und der Maßnahmenplanung enthalten, um die geforderte Sicherheit zu erzeugen. Die geforderte Sicherheit ist mit den bewusst akzeptierten Risiken und mit den Gefahren aus menschlichen Fehlhandlungen eng verbunden.

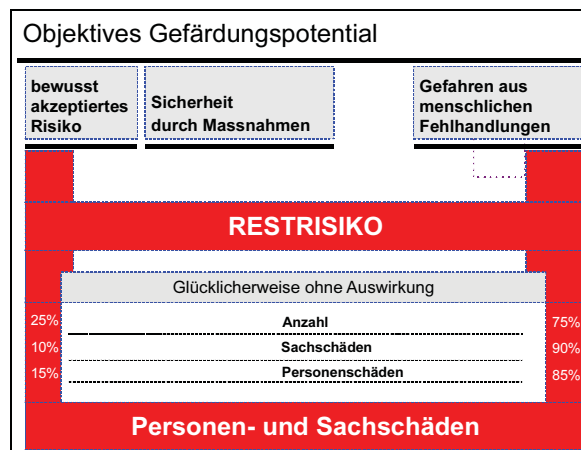


Abbildung 1
Restrisiken

3.2 Gefährdungsanalyse und Maßnahmenplanung

Als Mittel für die Bestimmung des Gefährdungspotentials einer Situation dient die kausale Beschreibung von Gefährdungsprozessen, die Gefährdungsanalyse. Ziel der Gefährdungsanalyse ist, die möglichen Gefahren zu erkennen, die erkannten Gefahren zu analysieren und in der Folge geeignete Gegenmaßnahmen zu finden. Das Erkennen und Analysieren von Gefahren setzt jedoch einen hohen Grad an Vorstellungskraft, an Kreativität und an Logik des Ingenieurs voraus. Kritische Situationen während der Bau-durchführung, aber auch nach der Baufertigstellung zu erkennen, bedürfen neben der Modellierung von Abläufen auch großer Erfahrung. Hier tritt die Erfahrung in die Kausalitätsbetrachtung ein. Nun gelingt es nicht mehr das Ursache-Wirkungs-Schema anzusetzen, sondern nun kann jedes Element innerhalb einer Analyse der Gefährdungsprozesse sowohl Ursache als auch Wirkung sein. Piaget spricht deshalb von Rückkoppelungskausalität und von einer Revision des Kausalbegriffes in kybernetischer Richtung.

3.3 Gefahren für das Bauwerk bzw. den Menschen

Ein Bauwerk sowie die das Bauwerk benützenden Menschen sind vielfältigen Gefahren-situationen während der Lebensdauer ausgesetzt. Diese Gefahrensituationen sind sehr vielfältig. Die Gefahren resultieren aus der Wechselbeziehung von Situationen aus der Natur und Situationen aus menschlicher Tätigkeit und Nutzung.

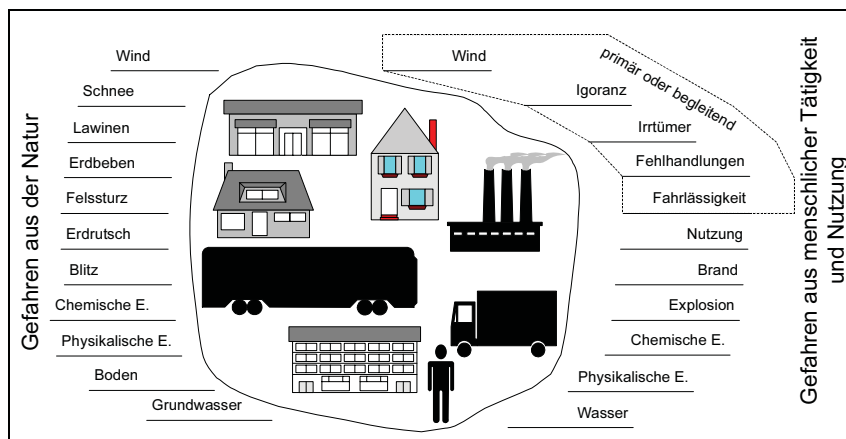


Abbildung 2
Gefahren für das Bauwerk bzw. den Menschen

Zur möglichst umfangreichen Erfassung möglicher Gefahren gibt es einige sehr effiziente Techniken bzw. methodische gedankliche Ansätze.

3.4 Techniken zur Gefahrenerkennung

3.4.1 Die chronologische Vorgehensweise

Bei der chronologischen Vorgehensweise werden Schritt für Schritt die Gefahrenpotentiale analysiert. Man kann diese Vorgangsweise als eine kausale Abfolge von Analyseschritten bezeichnen.

3.4.2 Die Nutzungsanalyse

Die Zielsetzung dabei ist die Analyse des Nutzungsprozesses und dessen Finalität. Der Begriff der finalen Ursache, den Aristoteles entwickelt hat, wird durch den Ansatz der Rückkoppelungskausalität ersetzt. Es ist klar, dass die kausale Abfolge von Gefahrensituationen analysiert werden kann und für das Verständnis wichtig ist, jedoch die Nutzung des Bauwerkes höchste Priorität hat. Ähnlich hat auch Konrad Lorenz 1940 argumentiert, nämlich dass für ihn das Verstehen der Welt nichts primär Denknötwendiges darstellt, sondern vielmehr die Leistung des gesamten Systems (bei ihm war es das zentrale Nervensystem).

3.4.3 Die Einflussanalyse

Für eine Situation bzw. eine Problemstellung sind die wesentlichen Einflussgrößen aufzufinden. Eine Erleichterung ergibt sich, durch Differenzierung in menschlich verursachte und aus der Umwelt resultierende Einflussgrößen. Die Unterlassung von Tätigkeiten kann ebenfalls zu wesentlichen Einflussgrößen führen. Bei dieser Analyse spielt die zeitlich und räumlich versetzte Auftretenswahrscheinlichkeit der Einflussgrößen eine bedeutende Rolle.

3.5 Techniken zur Bewertung kritischer Situationen

Zur Auffindung von kritischen Situationen gibt es ebenfalls mehrere Zugangsmöglichkeiten. Häufig wird dabei die Fehlerbaumanalyse, das heißt das Arbeiten mit logischen Bäumen verwendet. Diese Methodik ermöglicht eine logische Ergründung der Situation und schafft Ordnung und Übersichtlichkeit. Die Fehlerbaumanalyse (auch genormt in der DIN 25424) ist eine Methode, mit der sich die logischen Verknüpfungen von Komponenten- und Teilsystemausfällen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen, ermitteln

lassen. Die erhaltenen Ergebnisse lassen sich sowohl qualitativ als auch mit den Methoden der Logik-Algebra quantitativ analysieren. Man kann also die verschiedenen Ausfallkombinationen, die zum unerwünschten Ereignis führen, mitsamt ihren Eintrittshäufigkeiten ermitteln. Die Vorgehensweise ist hierbei deduktiv. Für ein vorgegebenes Ereignis werden die Ursachen bestimmt, wodurch auch von einer Rückkoppelungskausalität ausgegangen werden kann.

3.6 Gefährdungsbilder

Als Gefährdungsbilder oder auch Hazard Scenario werden Situationen genannt, in denen Gefahren räumlich und zeitlich miteinander wirken. Die Gefährdungsbilder erlauben eine Gliederung in:

- Situation
- Leitgefahrr
- Begleitumstände

Die Variation der Leitgefahrr ermöglicht erst die Klassifizierung der Gefährdungsbilder und in Folge die Auffindung des maßgebenden Gefährdungsbildes.

Das gesamte Gefährdungspotential wird auch als objektives Gefährdungspotential bezeichnet. Leider ist das objektive Gefährdungspotential niemals vollständig bekannt, da es unmöglich ist, die Gesamtheit der Gefahren zu kennen. Dem bekannten subjektiven Gefährdungspotential – dies ist eine Teilmenge des objektiven Gefährdungspotentials – kann jedoch in zwei verschiedenen Formen begegnet werden:

- die Gefahren bewusst akzeptieren und
- die Gefahren mit geeigneten Maßnahmen abwehren.

Diese Erfassung des Gefährdungspotentials mündet in drei Kategorien,

- in das bewusst akzeptierte Risiko,
- in die Sicherheit durch Maßnahmen,
- in die Gefahren durch menschliche Fehlhandlungen.

Die Gefahren zu akzeptieren, hat ein bewusst akzeptiertes Restrisiko zur Folge. Aufgrund der subjektiv unerkannten, der vernachlässigten Gefahren und aufgrund von nicht geeigneten Maßnahmen entstehen die durch menschliche Fehlhandlungen verbleibenden Restrisiken. Diese Restrisiken sind ein vorhandener Bestandteil unseres Lebens und sollten durch entsprechende Vorkehrungen so klein als möglich gehalten werden. Die bewusst akzeptierten Restrisiken bilden gemeinsam mit den aus menschlichen vielfältigen Fehlhandlungen resultierenden Restrisiken das vorhandene Restrisiko.

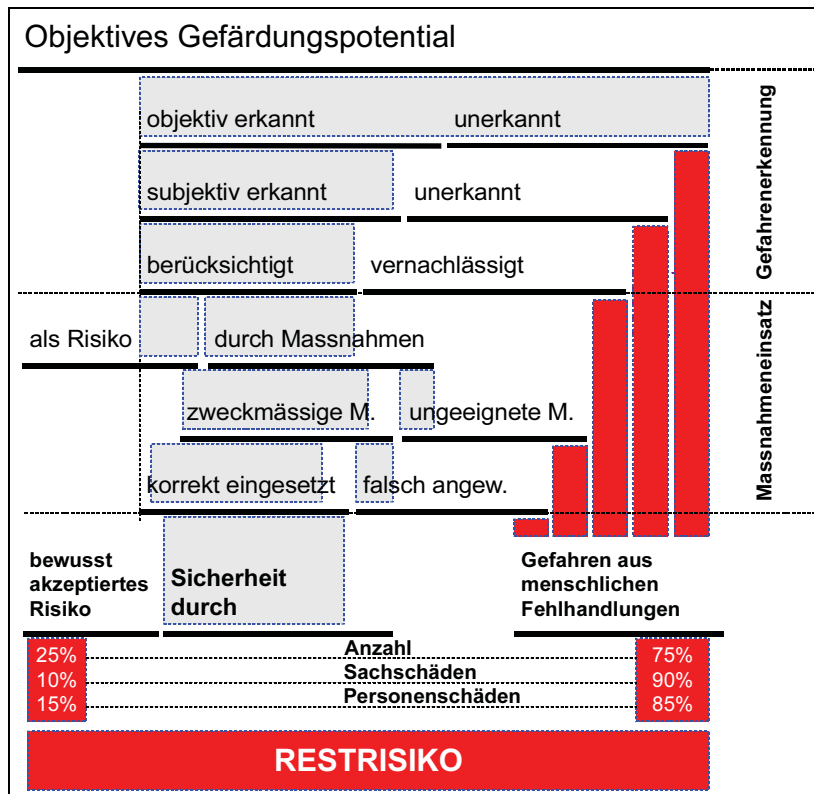


Abbildung 3
Gefährdungspotential

4 Kausale Zusammenhänge im Konstruktiven Ingenieurbau

4.1 Kausalität – Rückkoppelungskausalität

Der konstruktive Ingenieurbau baut in seinem Grundlagenwissen auf die Mathematik und Physik auf und arbeitet mit zumindest kausal verständlichen Modellen, welche die Wirklichkeit zu beschreiben versuchen. Unter Wirklichkeit versteht man hier das reale Verhalten von Baustoffen wie Beton, Stahl, Holz, Mauerwerk, Verstärkte Kunststoffe und Glas unter nicht immer eindeutig vorherseh- und beschreibbaren Einwirkungen. Diese technische Disziplin geht über rein anthropomorphe Strukturen (Anschaulichkeit, Alltagserfahrung etc.) weit hinaus.

Die Kausalität der Wirkungen eines bautechnischen Systems kann nicht auf reine Regelmechanismen beschränkt werden. Dabei spielt die Rückkoppelungskausalität eine ganz wesentliche Rolle. Denken wir an natürliche Naturereignisse, welche auf Schutzkonstruktionen einwirken. Sofern diese Schutzbarrieren (Wildbachsperrren, Stützbauwerke etc.) genügend Sicherheit aufweisen und dem Naturereignis Widerstand leisten, haben sie eine konkrete Wirkung in Bezug auf die Ursache des Naturereignisses. Treten aber Versagensmechanismen im Erdreich bzw. im Fundamentbereich dieser Schutzkonstruktionen auf, dann können plötzlich durch das Abrutschen dieser Schutzbauwerke neue Ursachen für weit größere Wirkungen bzw. Schäden entstehen.

Auch im nichtlinearen Werkstoffverhalten von gerissenem Konstruktionsbeton gibt es diese Rückkoppelungskausalität. Überschreitet ein Bauelement aus bewehrtem Stahlbeton die Zugkapazität des Betons, dann reißt der Beton in bestimmten Abständen (Rissabstände). Durch diese Risse entsteht aber nicht nur ein nichtlineares und damit duktileres Bauteilverhalten, sondern es können durch diese Risse auch Umweltmedien (Cloride, Feuchtigkeit etc.) eindringen, wodurch die Stahlbewehrung korrodieren kann.

4.2 Rückkoppelungskausalität von gerissenem Konstruktionsbeton

Im Konstruktionsbeton bleibt die Betonkapazität das schwache Glied. Wird durch eine externe Beanspruchung oder einen Zwangszustand (Temperatur etc.) diese Betonfestigkeit überschritten, dann führt dies zu Rissen. Im Allgemeinen kann man von folgenden drei Bereichen ausgehen:

- Elastischer Bereich
- Fließen der Bewehrung im Rissbereich
- Fließen der Bewehrung über die gesamten Risselemente

Entscheidend ist, gerade für den Übergang vom elastischen Bereich zum Rissbereich, die Zugfestigkeit des Betons. Sie unterliegt großen Streuungen, ist daher eine stochastisch zu betrachtende Variable mit einer großen Sensitivität für das Gesamtsystem. Die Größe ist zusätzlich abhängig von zahlreichen Faktoren wie Eigenspannungen aus Temperatur und Schwinden des Betons.

Bei einer Belastung eines Bauwerkes aus Konstruktionsbeton wird die Zugfestigkeit nach einem anfänglich linearem Verhalten auf Grund von Mikrorissbildung geringer, bis sich der erste Riss einstellt. Durch die fortschreitende Rissbildung entsteht lokal eine starke Verformung in der Risszone bei gleichzeitiger Entlastung des restlichen Bereiches.

Die Ursache im Sinne der Kausalität ist damit die Einwirkung, welche den Beton über die Zugkapazität beansprucht.

Die unmittelbare Wirkung sind je nach Bewehrungsart und -menge Risse, welche sich bis zu einer gewissen Breite (trockene Umgebung: Rissbreite $< 0,4$ mm, bzw. wechselnde Umgebungseinwirkungen: Rissbreite $< 0,3$ mm) in gewissen Abständen (Rissabstände) öffnen.

Die Rückkoppelung dieser kausalen Zusammenhänge kann aber zu Folgeschäden führen. Treten durch diese Risse Umgebungsmedien zum im Beton liegenden Bewehrungsstahl ein, kann es zu Korrosion und in Folge auch zu lokalen Abplatzungen bzw. Bruchvorgängen kommen. Korrosion der Bewehrung ist die Hauptursache für Schädigung und frühzeitiges Versagen von Stahlbetonbauwerken. Dabei spielt auch die Zeit eine wichtige Rolle. Deshalb ist die Anwendbarkeit einer klassischen Erkenntnistheorie sowohl durch die stochastisch verteilten Umweltbedingungen als auch durch die wechselseitige Unabhängigkeit von Raum und Zeit nicht mehr gegeben.

Die Kausalität liefert daher für die Wirkungsprozesse im Bauwesen und insbesondere im konstruktiven Ingenieurbau keine eindeutig wiederholbaren Ergebnisse. Der Riss in einem Betonkörper bzw. der Korrosionsbeginn an einer Stahlbewehrung erfolgt nach stochastischen Gesetzen; aber weder der Ort des Bruchvorganges noch der Zeitpunkt, zu dem er einsetzt, kann mit den derzeitigen Modellen eindeutig vorausgesagt werden. Man kann die Phänomene erklären und die Erfahrungserkenntnis (nicht die Erfahrung) durch wissenschaftliche Theorien belegen.

4.3 Kausalerwartung bei der Interaktion Bauwerk – Baugrund

Das integrative Betrachten von einwirkenden Bauelementen bzw. Bauwerken auf Böden verlangt eine statische Charakterisierung bzw. Modellierung. Dabei geht man näherungsweise von vereinfachten Modellen aus, um die Wechselwirkungen darzustellen und die zu erwartenden Schnittgrößen, wie Biegemomente an einem modellhaften Bauteil und die dabei zu erwartenden Setzungen, zu berechnen.

Bei Einwirkung einer Einzelkraft oder einer gleichmäßig verteilten Einwirkung kann die Ermittlung der größten Setzung und des maximalen Biegemomentes mithilfe eines Biegebalkens erfolgen. Die Biegebemessung und damit die Ermittlung der Setzungen von einem Fundamentbalken kann mit den geometrischen Dimensionen, dem Elastizitätsmodul des Fundamentes, dem Flächenträgheitsmoment des Fundamentes und den bodenmechanischen Kennwerten, wie Bettungsmodul etc., ermittelt werden.

Über diese vereinfachten Modelle können aus baustatischen Überlegungen heraus mit bodenmechanischen Kennwerten die Setzungen von Bauwerken abgeschätzt werden.

Mit einer bestimmten Kausalerwartung werden Wirkungen über vereinfachte Modelle aus relativ schwierig beschreibbaren Ursachen abgeleitet. Nach Kant ist die Kausalität ein Verstandesbegriff, mit dessen Hilfe die Erscheinungswelt geordnet und strukturiert betrachtet werden kann. Die evolutionäre Erkenntnistheorie spricht im Falle der Kausalität von kausaler Interpretation. Das trifft auch im Bauwesen zu.

Es sollte in den technischen Wissenschaften sowie auch in den Naturwissenschaften einen ontologischen Unterschied zwischen regelmäßiger und prognostizierbarer Abfolge (post hoc) und kausaler Verknüpfung (propter hoc) geben. Diese Vermutung steht zwar im Widerspruch sowohl zur empiristischen Haltung von Hume, als auch zur transzendentalphilosophischen Auffassung Kants; sie folgt aber der evolutionären Erkenntnistheorie.

5 Erkenntnis und Realität

In den technischen Wissenschaften sowie im konstruktiven Ingenieurbau versucht man durch Beobachtung, Experiment und logisch ableitbare Modelle die Realität zu beschreiben.

Kann man aber alle oder wenigstens einige Erkenntnisse klar beweisen? Jahrhunderte lang war man davon überzeugt, dass man die „technischen und physikalischen Wissenschaften“ durch Beweise belegen kann. Bereits Aristoteles wollte die Wissenschaft auf Grundsätzen aufbauen, die unmittelbar evident und darum eines Beweises weder bedürftig noch fähig sind. Auch Pascal hielt es für möglich, geometrische Beweise auf selbstevidente und deshalb wahre Axiome zu stützen (Pascal – Vom Geiste der Geometrie: Die Geometrie setzt nur Dinge voraus, welche durch die natürliche Einsicht klar und sicher sind, und deshalb ist sie vollkommen wahr).

Wissenschaftliche Hypothesen und Theorien sind im Allgemeinen und insbesondere im Bauwesen nicht voraussetzungslos beweisbar. Es ist nur möglich, von unbewiesenen Prämissen auszugehen und zu prüfen, was aus ihnen folgt, wenn man bestimmte Schlussfolgerungen zulässt. Solche unbewiesenen Prämissen nennt man in den Naturwissenschaften „Axiome“, oder „Postulate“. Ein Axiom ist somit kein unbeweisbarer oder gar selbstevidenter Satz, sondern ein Satz, auf dessen Beweis man verzichtet. Eine auf Axiomen aufgebaute Modellvorstellung stellt zwar einen archimedischen Punkt einer Theorie dar, nicht jedoch der Wirklichkeitstheorie.

Auch Einstein stellte fest, dass „die einer Theorie zugrunde liegenden Begriffe und Grundgesetze ... freie Erfindungen des menschlichen Geistes sind, die sich weder durch die Natur des menschlichen Geistes noch sonst in irgendeiner Weise a priori rechtfertigen

lassen ... Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit“, weshalb die Mathematik oder die Naturwissenschaften keine sichere Erkenntnis über die Welt liefern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass man im Bauwesen, insbesondere im konstruktiven Ingenieurbau, nicht von der reinen Kausalität, sondern von erkenntnistheoretischen Erfahrungsprozessen ausgeht, die in den so genannten Elementarsätzen (Wittgenstein), Konstatierungen (Schlick), Beobachtungen (Carnap) oder Basissätzen (Popper) ihre sprachliche Interpretation finden.

