

Entwicklung und Anwendung eines wissensbasierten Systems zur Vermeidung von Bauschäden in der Geotechnik

Dr.-Ing. Jens Ulrich Döbbelin
Universität Hannover

1 Allgemeines

Bereits in den 80er Jahren wurden von RIZKALLAH und anderen verschiedene Untersuchungen und Überlegungen zu den Ursachen von Bauschäden im Spezialtiefbau vorgenommen. Besonderes Merkmal dieser Forschungstätigkeiten war die neuartige, systematische Erarbeitung grundlegender Zusammenhänge der Entstehungsursachen von Bauschäden. Erstmals wurde eine große Grundgesamtheit von Schadensfällen untersucht und nach klassifizierbaren Merkmalen ausgewertet. Durch diese Vorgehensweise war es möglich, Fehlerquellen aufzudecken und allgemeingültige Aussagen zu bauschadensrelevanten Faktoren abzuleiten.

Dabei wurde u. a. belegt, dass auf dem Gebiet der Geotechnik eine Vielzahl von Bauschäden bereits in der Projektierung und somit nicht durch das ausführende Bauunternehmen verursacht wird. Die Mehrzahl der wirklichen Bauschadensquellen liegt - wie auch die Abbildung 1 aus dem Bereich der untersuchten Bauschadensfälle an Stahlspundwänden aus dem Jahre 1990 zeigt - in den Bereichen Voruntersuchung, Planung und Kommunikation (hier mit rd. 66%).

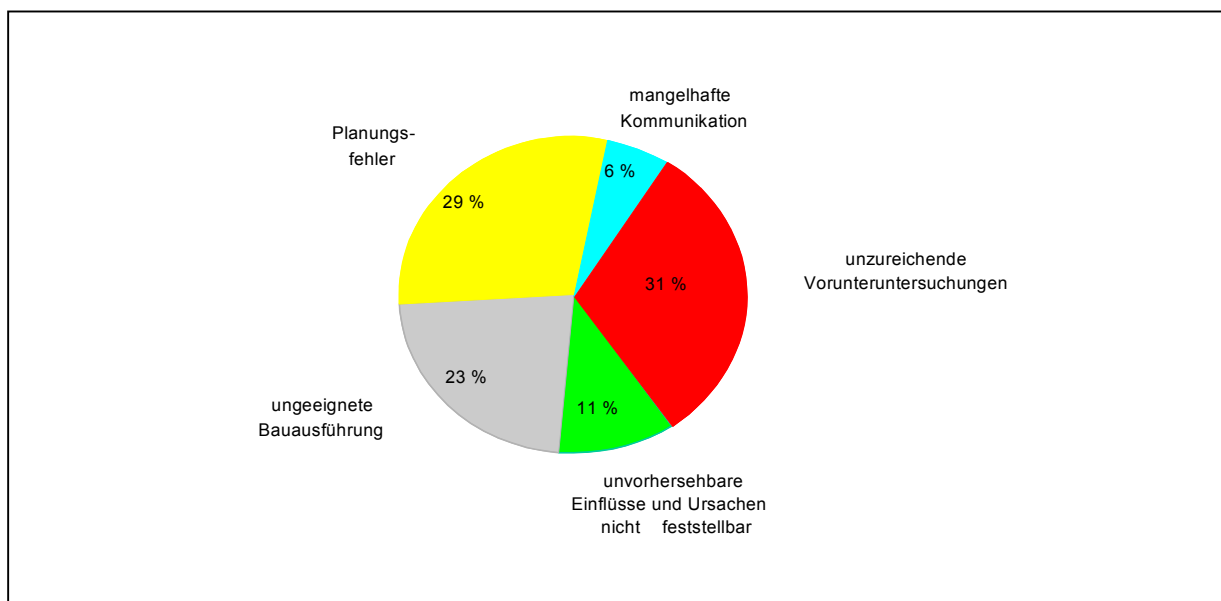


Abb. 1: Prozentuale Verteilung der ermittelten Bauschadensquellen am Beispiel der Stahlspundwände [nach Rizkallah et al., 1990]

Grundsätzlich gibt es im Bauwesen immer Situationen, in denen die Anzahl der Schadensereignisse oder die daraus resultierenden Kosten gering sind. In diesen Situationen wird das Risiko des eventuellen Eintritts eines Bauschadens akzeptiert. Bei Überschreiten einer Toleranzschwelle jedoch, werden Maßnahmen zur Minimierung der Bauschäden und der damit verbundenen Kosten erforderlich. Ein Weg zur Ermittlung dieser

Toleranzschwelle sind Gefährdungs- bzw. Risikoanalysen, unter denen man allgemein ein technisch-wissenschaftliches Vorgehen, zur Erfassung von Gefährdungen in abgegrenzten Systemen versteht.

Der schwierigste Teil einer Gefährdungs- oder Risikoanalyse ist die Risikobewertung, die sich allgemein auf Sachverstand, Erfahrung, Methodik und Intuition stützt. Durch eine Bewertung der Situation und bei Kenntnis der Größe des zu erwartenden Risikos können geeignete, vorbeugende Maßnahmen zur Reduktion der Gefährdung eingeleitet werden. Eine Risikobewertung ist damit kein Selbstzweck, sondern primär eine Entscheidungshilfe für die zu treffenden Maßnahmen auf rationaler Basis (Abbildung 2).

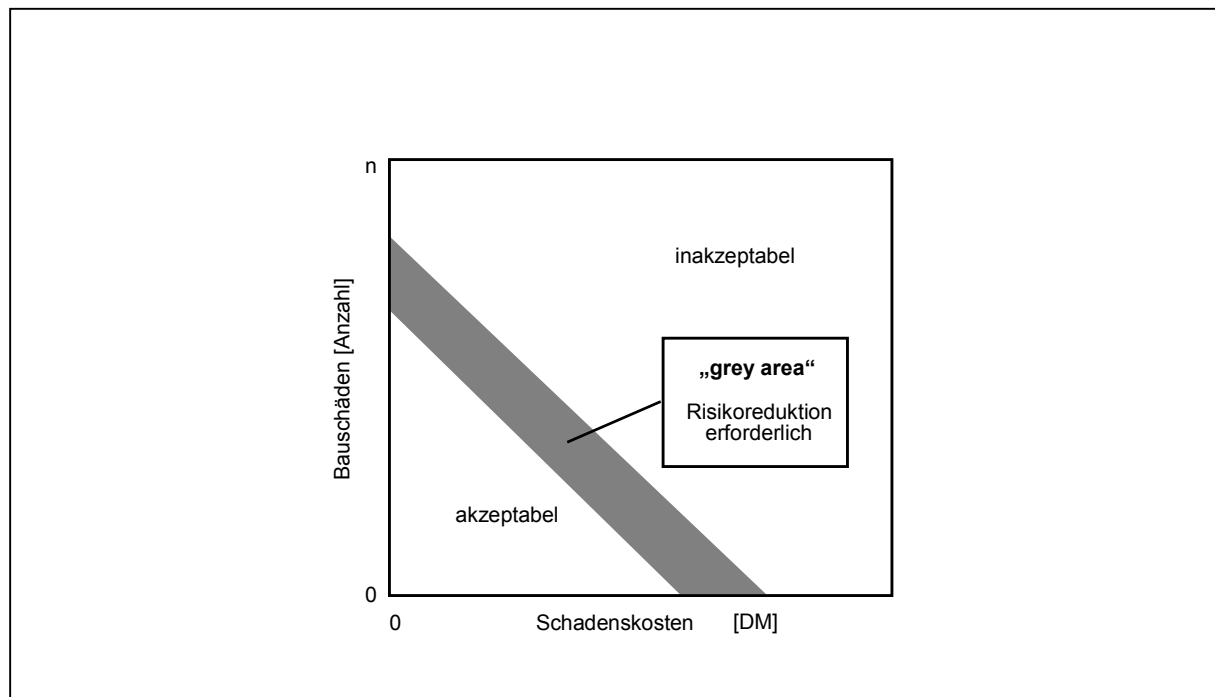


Abb. 2: Risikobewertung [nach Taylor, 1994]

2 Aufgabenstellung

Vorrangiges Ziel der weiterführenden Tätigkeiten in der Bauschadensforschung war es, zur wirksamen Reduzierung von Bauschäden Hilfsmittel in der Planung und Ausführung von Baumaßnahmen im Spezialtiefbau zu entwickeln, die leicht anzuwenden und wenig kostenintensiv sind. Die Erfahrungen aus der Vergangenheit, die in Form von Checklisten, Bauschadensanalysen und Risikobetrachtungen am Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau der Universität Hannover vorlagen, sollten auch bei der Entwicklung neuer Hilfsmittel Berücksichtigung finden.

Im Sinne eines Qualitätsmanagements sollten hierbei auch möglichst aktuelle Informationen und Parameter für das zu untersuchende Bauvorhaben abgefragt werden können. Ferner sollte im Rahmen dieser Hilfsmittel eine Abschätzungen des Risikos der untersuchten Baumaßnahme sollte ermöglicht werden. Insbesondere die Problematik der Verkettung verschiedener erkennbarer oder verborgener Bauschadensursachen, die einzeln oder kombiniert einen Bauschaden auslösen können, führt fast zwangsläufig zur Anwendung von

heuristischem Wissen, also Erfahrungswerten. Aufbauend auf diesen Überlegungen wurde das wissensbasierte Computerprogramm *PLURIS+* entworfen.

3 Entwicklung von *PLURIS+*

Wissensbasierte Systeme - früher auch als Expertensystem bezeichnet - dienen der EDV-gestützten Problemlösung in Bereichen, die durch die Anwendung von Erfahrungswissen geprägt sind und für die in der Regel keine klaren mathematischen Beschreibungen der Zusammenhänge existieren.

Zur Anwendung im Programm *PLURIS+* wurde ein Modell zur Abschätzung des Risikopotentials von spezialtiefbaulichen Baumaßnahmen entwickelt. Wichtigstes Element für die Umsetzung dieses Modells war der Wissenserwerb. Für die verschiedenen Schritte bei der Planung und Ausführung einer Baumaßnahme war eine Risikobewertung vorzunehmen.

Dieses wurde durch eine Befragung von 16 Baufachleuten aus dem Fachgebiet Spezialtiefbau zur Erfassung qualitäts- und risikobeeinflussender Parameter bei Maßnahmen zur Baugrubensicherung nach der Methode der DELPHI-Studie realisiert. Konfrontiert mit den Fragestellungen der für das Programm *PLURIS+* aufgestellten checklistenartigen Fragenkataloge wurde die Gruppe von Fachleuten in insgesamt 5 Befragungsrunden aufgefordert, ihre Einschätzung zum jeweiligen Risikopotential der einzelnen möglichen Antworten anzugeben und erforderlichenfalls zu begründen. Nach jeder Befragungsrunde wurden die Beiträge der Teilnehmer geordnet und klassifiziert. In den folgenden Befragungsrunden wurden die Experten mit den Ergebnissen der vorigen Befragungsrunden konfrontiert und gebeten, auf der Basis dieser neuen Information erneut ihre Einschätzung zum Risikopotential der einzelnen Fragen abzugeben. Die so erhaltene Information über das Risikopotential kann als quasi ausdiskutiert angesehen werden und liegt vermutlich nahe an dem tatsächlichen, unbekanntem Ergebnis.

Als für das Rechenmodell zur Risikoabschätzung im Programm *PLURIS+* anzusetzende Risikobewertung wurde - wie in Abbildung 3 dargestellt - der Median als "vorsichtiger" Mittelwert der Befragungsergebnisse gewählt.

Aus den Ergebnissen der Expertenbefragung entstanden bewertete, checklistenartige Fragenkataloge, von denen wir hier einen Ausschnitt aus dem Anwendungsbereich der Trägerbohlwände sehen. Durch die Erfahrungen der befragten Baufachleute war es möglich, den Antworten auf jede Frage ein spezifisches Risikopotential zuzuordnen.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde das Programm *PLURIS+* in der Programmiersprache C++ erstellt. Auch hierbei wurde als Basis für die Schnittstelle mit dem Anwender die aus früheren Arbeiten im Rahmen der Bauschadensforschung bekannte Checklistenform beibehalten.

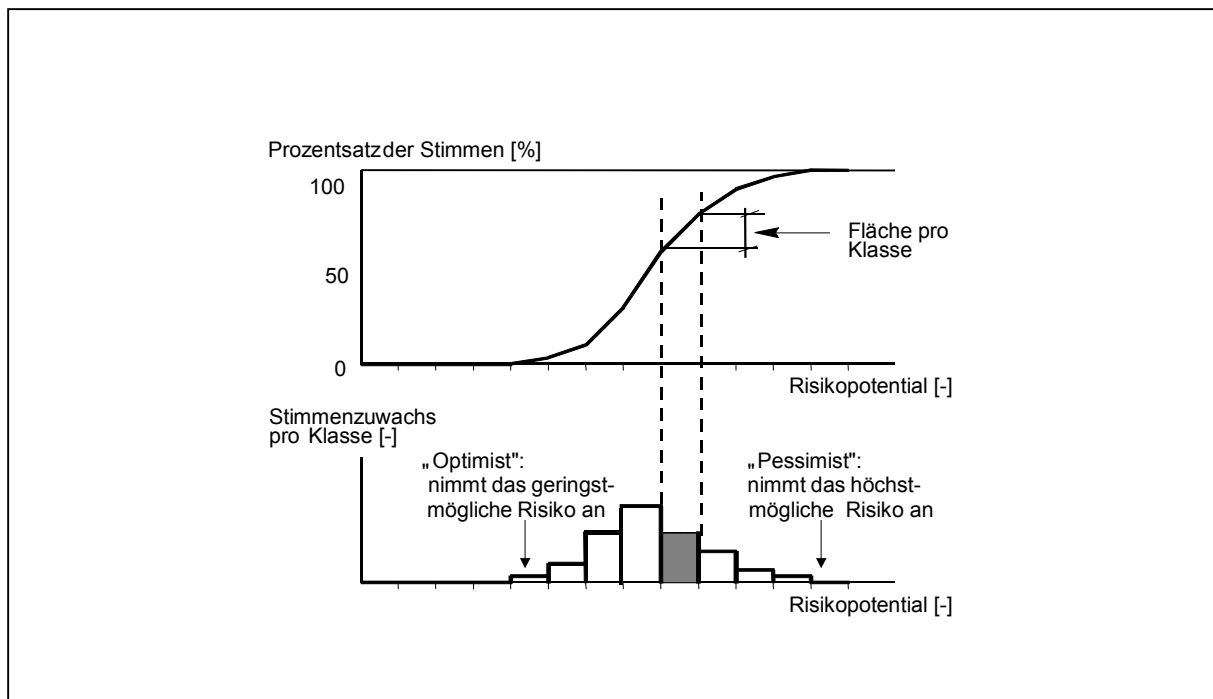


Abb. 3: Zur Auswertung der DELPHI-Studie

Die Abbildung 4 zeigt einen Bildschirmausschnitt aus diesem Programm. Das Ausfüllen der Fragenkataloge für die Phasen Voruntersuchung, Planung und Bauausführung wird menü- und mausgesteuert mit den verschiedenen Antwortmöglichkeiten meist in "ja"-/ "nein"-Form vorgenommen. Auf dem Bildschirm erscheint jeweils nur eine Frage mit den dazugehörigen Unterfragen. Zwischen den Fragen kann vor- und zurückgeblättert werden. Bei Bedarf stehen eine Hilfefunktion und erläuternde Kommentartexte zur Verfügung.

CHECKLISTE-SPEZIALTIEFBAU

Baugrubensicherung mit Trägerbohlwänden

Auftraggeber: Musterstadt Bauprojekt: Musterprojekt

2. Sind folgende Angaben über Baugrund/Grundwasser vorhanden? ja nein unbekannt

2.1 * wenig standfeste Böden (z.B. zum Fließen oder Ausrieseln neigende Böden) stehen an	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.2 schwer lösbare Böden stehen an	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.3 Bohrprofile und Verzeichnisse der Bohrergebnisse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.4 Baugrundparameter (z.B. Konsistenz/Lagerungsdichte, Scherparameter, Wasserdurchlässigkeit)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.5 * Liegt der höchste gemessene Grundwasserstand unterhalb der Baugrubensohle?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.6 * Wird eine Grundwasserabsenkung/eine entsprechende Sicherheitsmaßnahme durchgeführt?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.7 gespanntes Grundwasser liegt vor	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2.8 Ergebnisse der chemischen/biologischen Wasseranalyse (Beton- u. Stahlaggressivität)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* Bei Beantwortung dieser Frage hat das Ergebnis einen besonderen Einfluss auf die gesamte Risikoabschätzung

Hilfe Auswertung << Zurück Weiter >> Ende

Abb. 4: Bildschirmausschnitt aus dem Programm *PLURIS+*

Der Anwender kann auf Fragenkataloge der folgenden Bauverfahren zugreifen:

- Baugrubensicherung mit Trägerbohlwänden,
- Stahlspundwänden,
- Herstellung von Verpressankern,
- Wasserhaltungsmaßnahmen bei Baugrubensicherungen.

Nach dem Ausfüllen eines Fragenkataloges kann das resultierende Risikopotential des bearbeiteten Bauvorhabens abgeschätzt werden. Hierzu wurde jeder gegebenen Antwort auf eine Frage ein Wert "a_j" als gewichteter Risikowert zugeordnet. Je größer dieser Wert a_j ist, um so größer ist der Einfluss der Antwort auf das zu ermittelnde resultierende Risikopotential. Zur Abschätzung des Gesamtrisikopotentials werden für eine vollständig ausgefüllte Fragenfolge die den Antworten zugeordneten Werte addiert. Aus dieser Summe wird die Zuordnung zum resultierenden Risikopotential R nach Abbildung 5 vorgenommen.

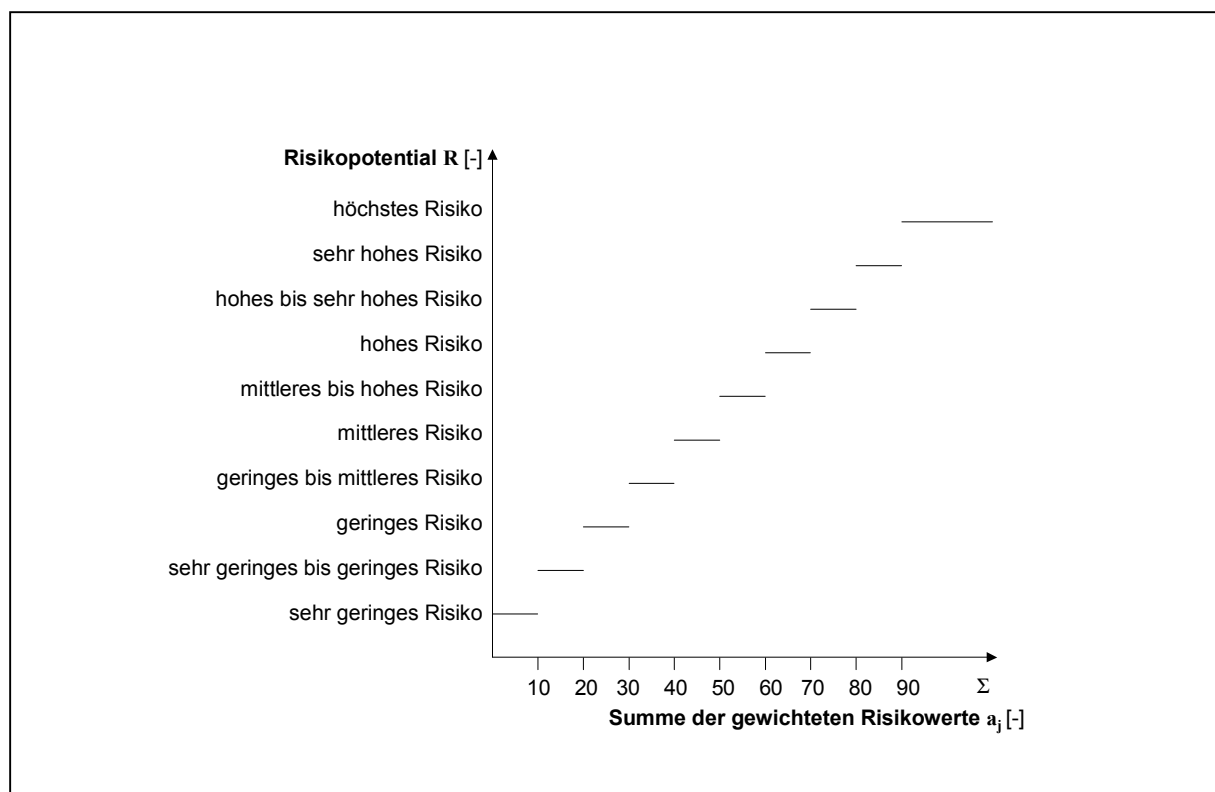


Abb. 5: Empirische Zuordnung des Risikopotentials R im Programm *PLURIS+*

Die Software wurde versuchsweise in unterschiedlichen Bereichen der Bauwirtschaft eingesetzt und überprüft. Hierbei konnte bestätigt werden, dass durch den Einsatz des Programms *PLURIS+* mit einem relativ geringen Mehraufwand mögliche Fehlerquellen und Risikopotentiale im Sinne eines Soll/Ist-Vergleichs frühzeitig bereits während der Planung erkannt und berücksichtigt werden können.

Grundsätzlich wurde bei diesen Tests jedoch auch festgestellt, dass das Programm *PLURIS+* eher zu einer Abschätzung des Risikopotentials in einer frühen Phase der Planung eines Bauvorhabens geeignet ist. Bei weiter vorangeschrittenen Bauvorhaben müssen mehr

konkrete physikalische Einflussgrößen und bodenmechanische Parameter in eine Abschätzung des Risikopotentials eingehen können, als es bei der vorliegenden reinen Checklistenabfrage der Fall sein kann. Zusätzlich sind bestimmte vom jeweiligen Bauverfahren abhängige Verknüpfungen unterschiedlicher Einflussgrößen zu berücksichtigen.

Diese Überlegungen legten den Schluss nahe, das Programm *PLURIS+* um Komponenten zu erweitern, die in der Lage sind, solche Verknüpfungen herzustellen und bei einer Abschätzung des Risikopotentials zu berücksichtigen. Die Suche nach geeigneten Methoden hierfür führte zu Ansätzen aus der Fuzzy-Set-Theorie, die im folgenden kurz vorgestellt werden.

4 Fuzzy-Logik

Die Theorie der “unscharfen Mengen”, die sogenannte Fuzzy-Set-Theorie, ist auf den Informatiker Lotfi Asker Zadeh zurückzuführen. ZADEH erweiterte bei seinen weiterführenden Überlegungen zur Fuzzy-Set-Theorie die konventionellen zweiwertigen Formulierungen der BOOLSchen Logik, indem - wie in Abbildung 6 dargestellt - Entscheidungsnuancen einführte, die einen gleitenden Übergang von Aussagen ermöglichen. Dies ist die sogenannte Fuzzy-Logik.

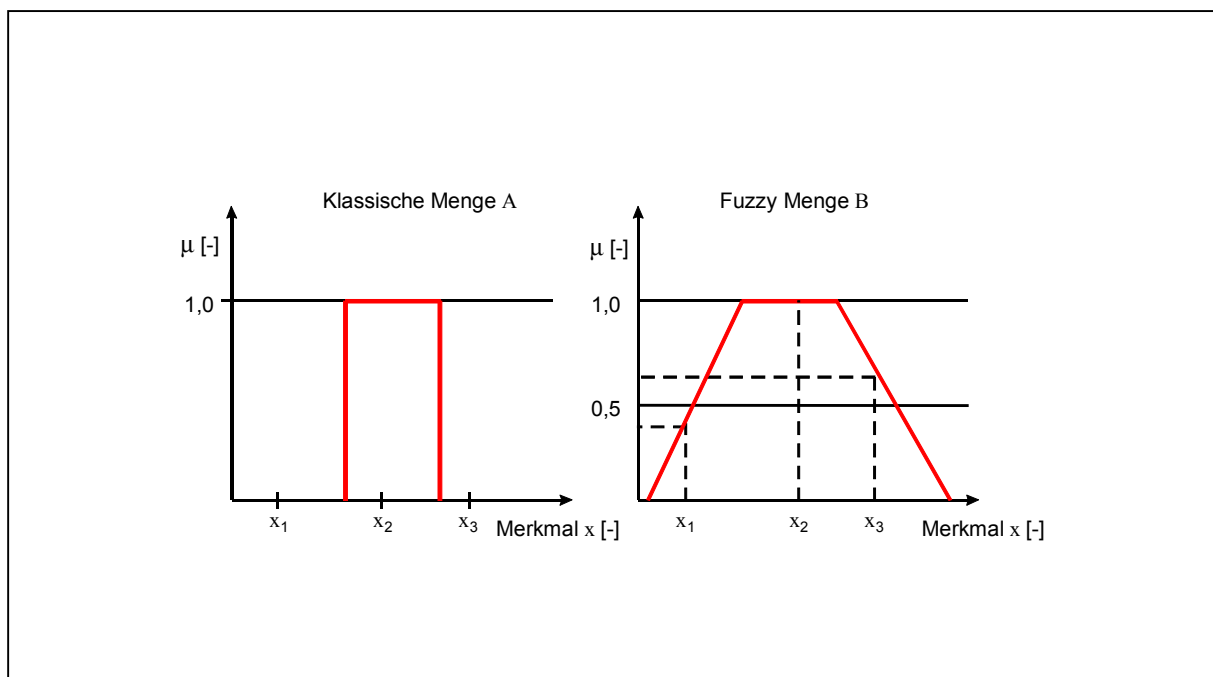


Abb. 6: Unterschiede zwischen einer klassischen und einer Fuzzy-Menge

Aus dem von ZADEH entworfenen Gedankengerüst zur Fuzzy-Logik entwickelte sich Fuzzy-Control, eine Methode zur Steuerung von technischen Prozessen mit Hilfe der Fuzzy-Logik, die unter anderem aus der Regelungstechnik bekannt ist.

5 Entwicklung eines Fuzzy-Systems zur Erweiterung des Programms *PLURIS+*

Für die Überlegungen zur Erweiterung des Programms *PLURIS+* wurde ein System aus insgesamt 83 Fuzzy-Controllern entwickelt, die grundsätzlich die in Abbildung 7 dargestellte Form haben. Eingangswerte in Form von vagen Begriffen oder auch exakten Werten, werden in den Komponenten Fuzzifizierung und Inferenz miteinander verknüpft, bevor in der Defuzzifizierung eine exakte Ausgangsgröße zum Risikopotential ermittelt wird.

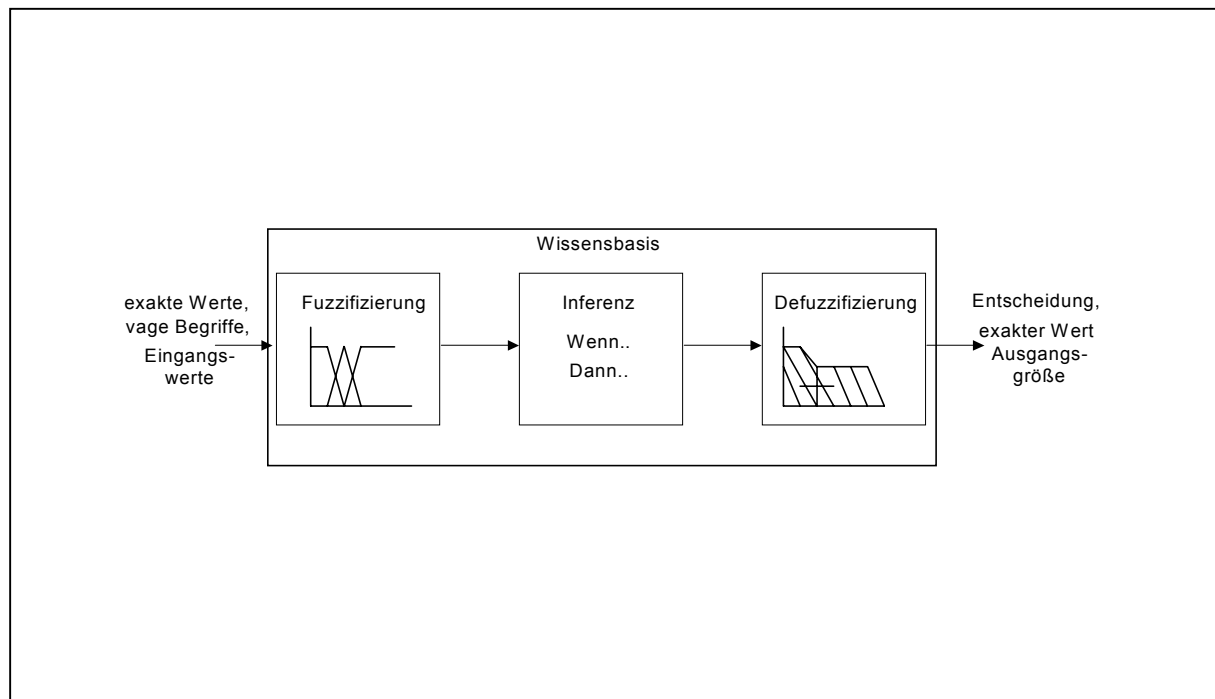


Abb. 7: Fuzzy-Controller

Die Wissensakquisition für die Aufstellung dieses Systems stützt sich im wesentlichen auf Ergebnisse der Expertenbefragung zur Entwicklung des Basismodells von *PLURIS+*, Vorschriften und Normen, wissenschaftliche Standards und auf die Auswertung von Fachliteratur.

5.1 Arbeitsschritte der Controller

Im ersten Schritt eines solchen Controllers müssen zur Verarbeitung innerhalb der Wissensbasis zunächst die Eingabedaten - gleich ob scharf oder unscharf - in eine geeignete Form überführt werden. Dieser Vorgang heißt Fuzzifizierung.

Im Rahmen der Fuzzy-Logik werden sogenannte linguistische Variablen zur mathematischen Nachbildung des menschlichen Sprachgebrauchs bzw. Entscheidungsverhaltens genutzt. Die Abbildung 8 gibt hierzu ein Anschauungsbeispiel. Jeder linguistischen Variablen werden gewisse Ausprägungen z. B. von sehr gut bis sehr schlecht zugesprochen. Jeder Ausprägung wird eine Zugehörigkeitsfunktion zugeordnet. Die Form dieser

Zugehörigkeitsfunktionen ist grundsätzlich beliebig, zweckmäßig sind aus Gründen des Berechnungsaufwandes oftmals jedoch lineare Verteilungen.

Dem jeweiligen Eingangswert werden beim Fuzzifizieren Eigenschaften auf der Basisgröße der linguistischen Variablen zugeordnet. In dem hier vorgestellten System trägt die Basisgröße die Bezeichnung spezifisches Risikopotential der linguistischen Eingangsvariablen r_{sL} .

Oberhalb der schraffiert gekennzeichneten Bereiche sind Zugehörigkeiten zu verschiedenen Zuständen möglich. Beispiel: Ein befriedigender Zustand mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0,5 ist gleichzeitig auch ein schlechter Zustand mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0,25. Beide haben einen Wert von 5,7 auf der Basisvariablen r_{sL} .

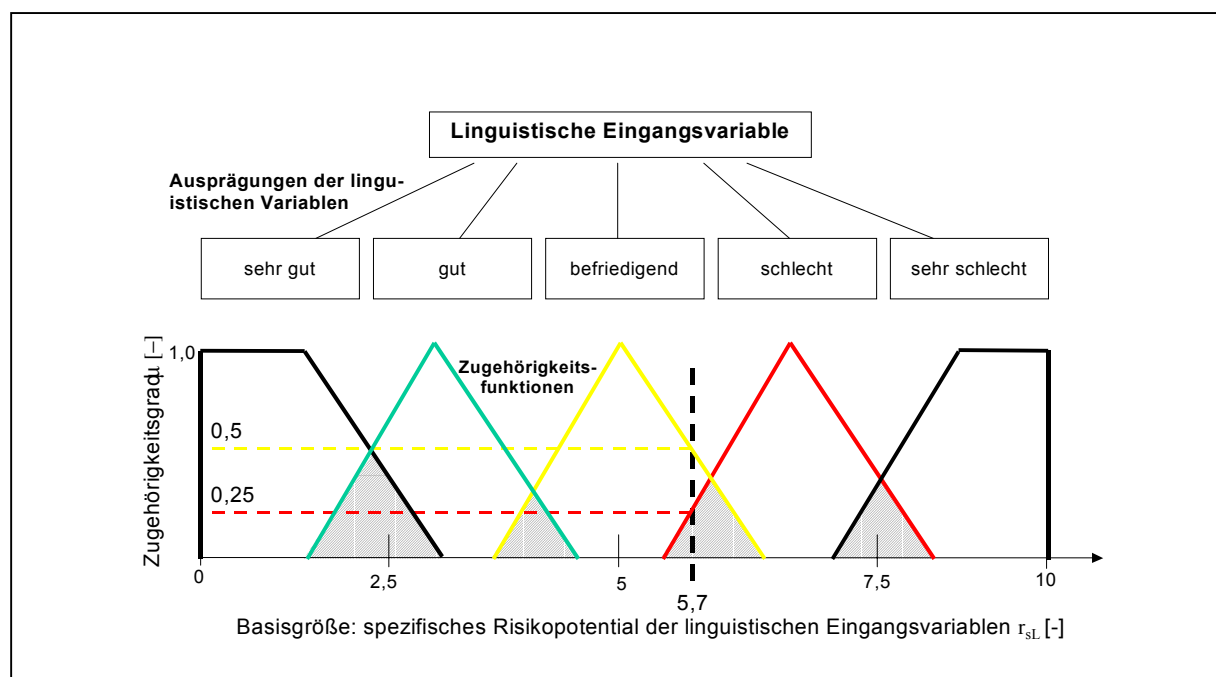


Abb. 8: Linguistische Eingangsvariablen und deren Ausprägungen

Innerhalb hier vorgestellten Systems stellt sich die Fuzzifizierung in einer allgemeinen Form wie in Abbildung 9 dar.

Jeder Fuzzy-Regler arbeitet mit einer Anzahl linguistischen Variablen als Eingangsgrößen, die vorhandenen Eingangswerten x entsprechen. Jede dieser Variablen beinhaltet eine Anzahl von Ausprägungen. Mit Hilfe der Zugehörigkeitsfunktionen werden die jeweiligen Zugehörigkeitsgrade zu den Ausprägungen bestimmt. Das Ergebnis der Fuzzifizierung ist der Vektor r_{sL} . Jedes Element dieses Vektors repräsentiert das spezifischen Risikopotential einer linguistischen Eingangsvariablen.

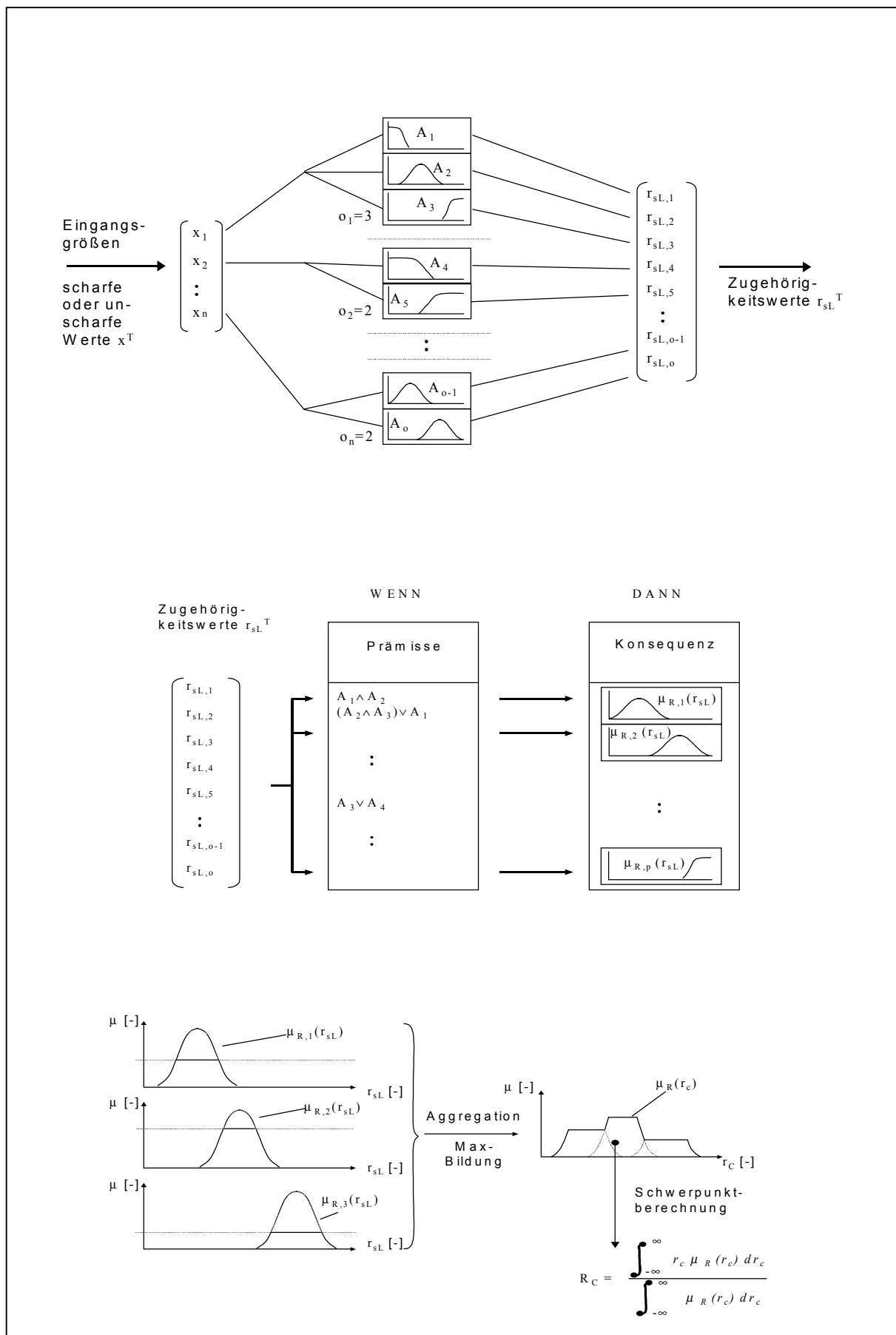


Abb. 9: Allgemeine Darstellung der Komponenten des Fuzzy-Systems

Der nächste Bearbeitungsschritt ist die Inferenzkomponente. Sie verkörpert die Schlussfolgerungsfähigkeit des Systems und wendet das Expertenwissen auf das vom Benutzer eingegebene Faktenwissen an. Für die Verarbeitung der aus der Fuzzifizierung übergebenen Zugehörigkeitsgrade r_{sL} zum spezifischen Risikopotential wird ein Regelwerk in Form von WENN-DANN-Beziehungen aufgestellt. Mehrere Prämissen werden durch logische UND/ODER - Operatoren verknüpft.

Durch die Operatoren wird aus den einzelnen Zugehörigkeitsgraden der Gesamtzugehörigkeitsgrad einer Folge von Prämissen ermittelt. Durch diese Prämissenaggregation ergeben sich zusammengesetzte unscharfe Zugehörigkeitsfunktion μ_R .

Im letzten Schritt der sog. Defuzzifizierung werden aus den "unscharfen" Ergebnismengen eines Fuzzy-Controllers scharfe Ausgangswerte gewonnen. Die Defuzzifizierung simuliert die menschliche Fähigkeit eine Bewertung bei der Einschätzung mehrerer möglicher Ergebnisse zu finden. Als Ergebnis der Inferenz liegen die Zugehörigkeitsfunktionen verschiedener möglicher Risikopotentiale, hier als $\mu_{R,1}(r_{sL}) \dots \mu_{R,p}(r_{sL})$ dargestellt, vor. Diese möglichen Ergebnisse müssen gegeneinander abgewogen werden, so dass schließlich ein scharfer Wert als Ausgangswert entsteht.

Zur Ermittlung des Ausgangswertes wird zunächst punktweise das Maximum der Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_R(r_{sL})$ berechnet. Daraus resultiert die zusammengesetzte Zugehörigkeitsfunktion $\mu_R(r_c)$. Im Anschluss an diesen - auch als Ergebnisaggregation bezeichneten - Vorgang wird die Koordinate des Flächenschwerpunktes unter der von $\mu_R(r_c)$ dargestellten Kurve berechnet. Die ist der Wert R_c für das akkumulierte Risikopotential des Controllers.

Beim Entwurf dieses Systems aus Fuzzy-Controllern wurde die vorhandene Fragenkatalogstruktur der Basisversion von *PLURIS+* berücksichtigt. Durch die Anwendung der Fuzzy-Logik ergibt sich eine erweiterte Auswahl an Antwortmöglichkeiten. Zusätzlich können konkrete physikalische Werte z. B. aus bodenmechanischen Untersuchungen und Planungsparameter der Baumaßnahme, aber auch "unscharfe" Aussagen in das System eingebracht, miteinander verknüpft und für die Abschätzung des Risikopotentials zusammengeführt werden.

5.2 Anwendungsbeispiel

Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge ist ein kurzes fiktives Beispiel anhand eines Controllers aus dem Themenbereich Baugrubensicherung mit Trägerbohlwänden zweckmäßig. Für eine Risikobetrachtung ist bei der Herstellung von Trägerbohlwänden die Kenntnis der Standfestigkeit des Bodens von Bedeutung, da der Bodenaushub der einzubauenden Verbohlung nicht zu weit vorseilen darf.

Der Controller (Abbildung 10) trägt die Bezeichnung Standfestigkeit des Systems Wand/Boden, SST, seine Eingangsvariablen sind die Qualität der Sicherung der Wand, QS

und die Standfestigkeit des Bodens, ST. Die Variable ST wiederum ist abhängig von der maßgeblichen Bodenart, der Lagerungsdichte, der Ungleichförmigkeit bzw. der Konsistenz des Bodens.

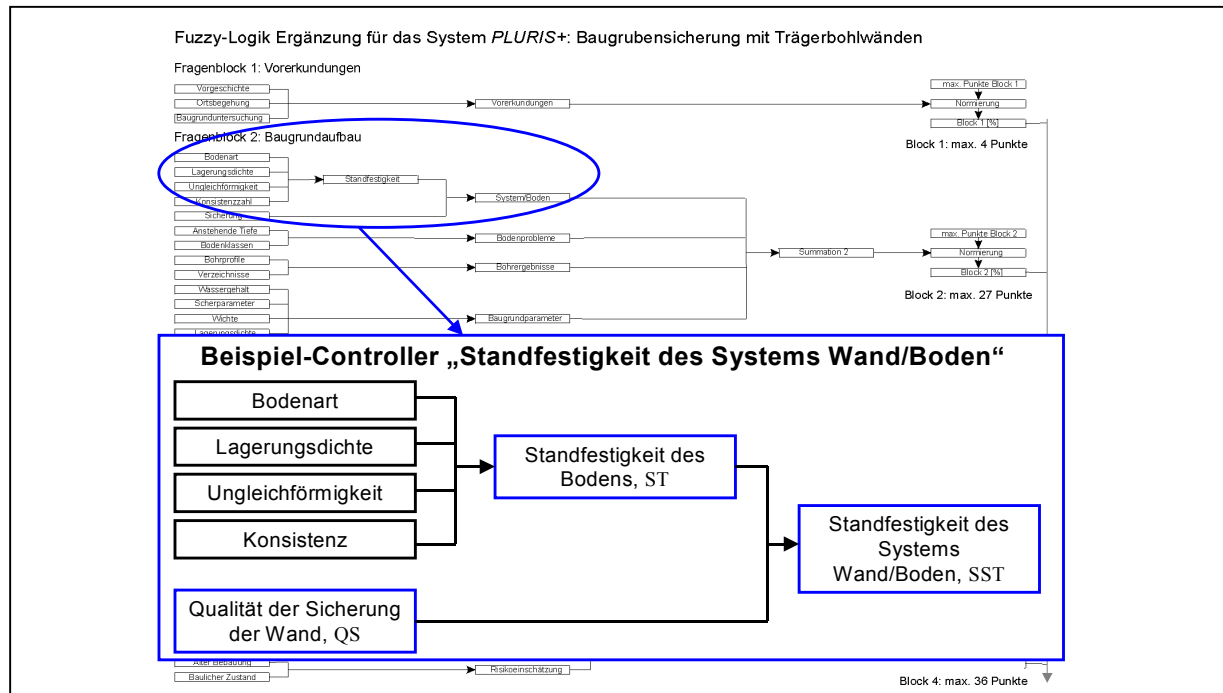


Abb. 10: Beispiel-Controller

Die Mehrdimensionalität der Inferenz dieses Systems lässt sich am gewählten Beispiel darstellen. Hierzu werden die spezifischen Risikopotentiale der Eingangsgrößen des Fuzzy-Controllers gegen die zu ermittelnde Ausgangsgröße des akkumulierten Risikopotentials aufgetragen.

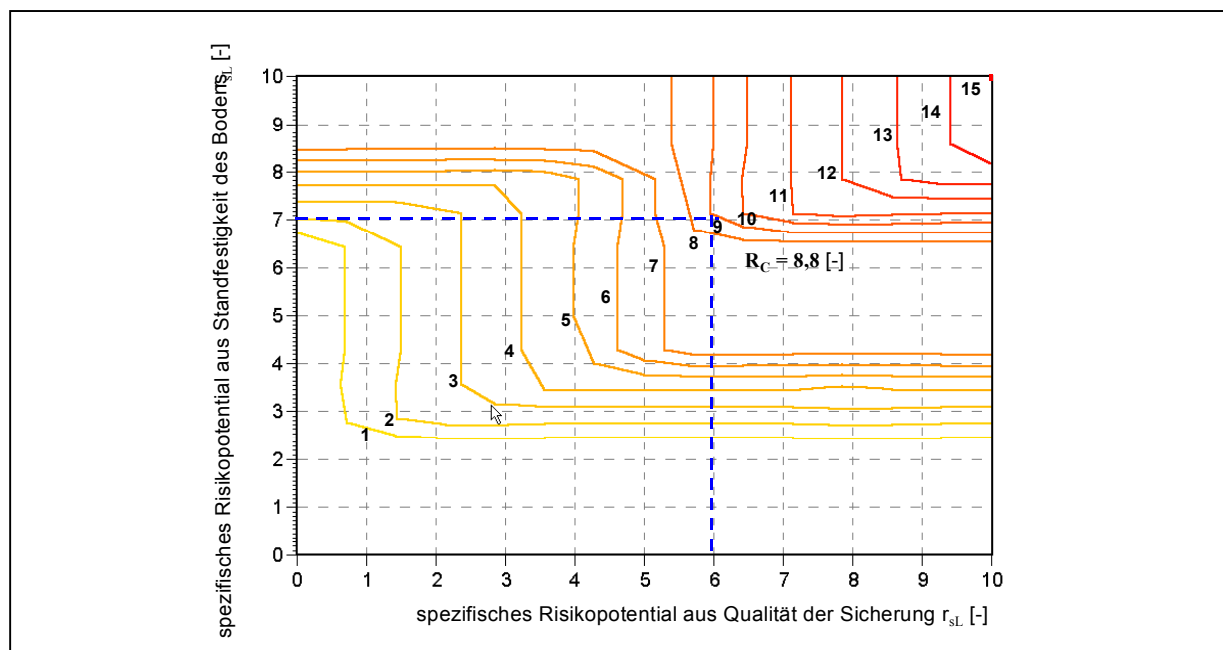


Abb. 11: Kennfeld zum akkumulierten Risikopotential R_C des Beispiel-Controllers „Standfestigkeit des Systems Wand/Boden“

Für den gewählten Beispielcontroller erhält man unter Berücksichtigung des Regelwerks und der verwendeten, oben erläuterten Operatoren diese Darstellung eines Kennfeldes in Form von Isolinien. Anhand dieser Isolinien kann das jeweilige resultierende, akkumulierte Risikopotential des Controllers abgelesen werden (Abbildung 11).

In dem hier vorgeschlagenen System aus Fuzzy-Controllern wird jedem Eingabewert ein spezifisches Risikopotential r_{sL} auf einer linguistischen Variablen zugewiesen. Diese werden in der geschilderten Weise nach Methoden der Fuzzy-Logik miteinander verknüpft. Jeder Fuzzy-Controller liefert einen Ausgabewert R_c als das akkumulierte Risikopotential des Controllers.

Durch eine Verknüpfung der einzelnen Ausgabewerte $R_{c,i}$ verschiedener seriell oder parallel wirksamer Controller miteinander wird letztlich das Gesamtergebnis des Risikopotentials R_R der untersuchten Baumaßnahme ermittelt. Diese lässt sich, wie bereits in Abbildung 5 dargestellt, in gewohnter Weise wiedergeben.

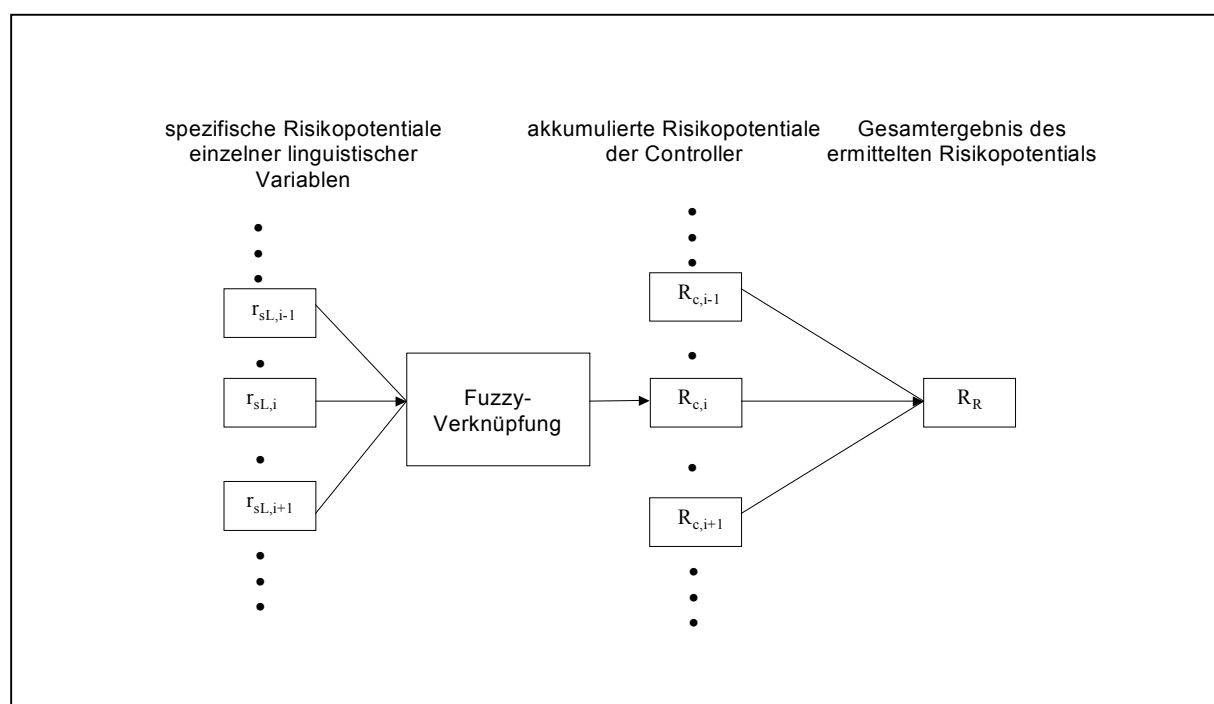


Abb. 12: Ermittlung der resultierenden Risikopotentials R_R

Insgesamt wurden zur Umsetzung des Fuzzy-Systems für das Programm *PLURIS+* 83 Fuzzy-Controller in ähnlicher Form wie der hier beschriebenen aufgestellt. Die Tabelle gibt hierzu einen Überblick.

Verfahren	Anzahl der Fragenblöcke	Anzahl der Eingangsvariablen	Anzahl der Regeln	Anzahl der Controller
Trägerbohlwände	6	59	863	22
Stahlspundwände	6	59	826	21
Verpressanker	6	51	673	20
Wasserhaltung	6	41	358	20
Gesamt	24	210	2720	83

Tabelle1: Gesamtumfang des Fuzzy-Systems

6 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund erhöhter Forderungen nach Qualität und verschärfter Wettbewerbsbedingungen in der Bauwirtschaft, besteht heute mehr denn je die Notwendigkeit, Methoden zur Minimierung von Bauschäden und den daraus resultierenden finanziellen Belastungen zu erarbeiten und für eine baupraktische Anwendung - insbesondere in planerischen Bereichen - zur Verfügung zu stellen.

Zu diesem Zweck wurde hier das wissensbasierte Computerprogramm *PLURIS+* vorgestellt. Dieses hat zum Ziel, mögliche Gefahren z. B. für Menschen, Nachbarbauten und die Umwelt zu erkennen und durch den Effekt der Sensibilisierung eine möglichst sichere Bauplanung und -durchführung herbeizuführen.

Erste Anwendungstests des Programms *PLURIS+* zeigten, dass eine Erweiterung des Programms durch geeignete Methoden angebracht war, da in späteren Phasen der Bauplanung und des Bauablaufes umfangreichere Informationen und Abhängigkeiten zu berücksichtigen sind. Aufbauend der Basisversion wurde daher ein System entwickelt, das weiterführende Informationen mittels Methoden der Fuzzy-Logik für die Abschätzung des Risikopotentials einer Baumaßnahme verarbeiten kann. Die Anwendung der Fuzzy-Logik bei der Abschätzung des Risikopotentials ermöglicht es dem Anwender, auch bei „unscharfen“ Eingabewerten eine scharfe Ausgangsgröße zu ermitteln.

Im Einzelfall kann nur vom Anwender entschieden werden, ob die durch das System vorgeschlagenen Entscheidungen zutreffen, da das Schadensphänomen bis heute nicht in allen Einzelheiten zu klären ist und das Risikopotential einer Baumaßnahme eine abstrakte Größe darstellt. Die in diesem System aus Fuzzy-Controllern vorgeschlagenen Parameter können demnach keine endgültigen Größen sein. Durch die Ergebnisse der Expertenbefragung können Sie als in abgesteckten Grenzen abgesicherte Diskussionsgrundlage für zukünftige Weiterentwicklungen angesehen werden. Die einzelnen Fuzzy-Logik Elemente können aufgrund von zusätzlich erworbenem Wissen erweitert bzw. angepasst oder auf andere Anwendungsgebiete übertragen werden. Dies bedarf dann jedoch weiterer Tests und Kontrollen zur Kalibrierung des Systems. Zur Erweiterung des Systems sind in der Zukunft Untersuchungen nicht nur an „schadensbehafteten“ Bauwerken sondern auch an „gelungenen“, schadensfreien Bauwerken sinnvoll, um hierdurch das System noch besser anpassen zu können.

7 Literatur

- | | |
|--------------------------------|---|
| Bandemer, H.
Gottwald, S. | Einführung in Fuzzy-Methoden – Theorie und Anwendung unscharfer Mengen, Akad.-Verlag, Berlin, 1993 |
| Döbbelin, J.,
Rizkallah, V. | Schadensvermeidung bei Baugrubensicherungen: Trägerbohlwände, Stahlspundwände, Kurzzeitanker, Grundwasserabsenkungen, Institut für Bauschadensforschung e.V., Hannover, |

Informationsreihe Heft 13,1997

- Döbbelin, J. Zur geotechnischen Anwendung wissensbasierter Systeme mit Elementen der Fuzzy-Logik, Mitteilungen des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau der Universität Hannover, Heft 53, Dissertation, Eigenverlag, Hannover, 2000
- Drechsel, D. Regelbasierte Interpolation und Fuzzy Control, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1996
- Funk, K. Expertensystem für Lärm- und Erschütterungsprognosen beim Einbringen von Spundbohlen, Mitteilungen des Curt-Risch-Instituts für Dynamik, Schall- und Messtechnik, CRI-F-2/96, Universität Hannover, 1996
- Godehart, K.
Rizkallah, V.
Vogel, J. Zur Abschätzung des Restrisikos einer Baumaßnahme, Informationsreihe des Instituts für Bauschadensforschung e.V., Hannover, Heft 11, 1995
- Hall, N. C. G. Using fuzzy expert system for decision support of the strategic planning process, PhD thesis, Ann Arbor UMI, Atlanta, 1986
- Hartmann, R.
Nawari, O. Ansatz der Fuzzy-Logik und Fuzzy-Set-Theorie in der Geotechnik - Neue Wege zur Unsicherheits- und Risikobewertung, Baugrundtagung, Berlin, 1996
- Kahlert, J. Fuzzy Control für Ingenieure: Analyse, Synthese und Optimierung von Fuzzy-Regelungssystemen, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1995
- Losansky, G. Analyse und quantitative Beurteilung von Personen- und Sachschäden bei Baugruben,- Graben-, Unterfangungs- und Gebäudesicherungsarbeiten, Dissertation, Universität Dortmund, 1989
- Maidl, B.
von Gersum, F. Qualitätssicherung im Bauwesen, ein Thema dem wir uns stellen müssen, Bauingenieur 64, Springer-Verlag, Berlin, Seite 571-577, 1989
- Rizkallah, V. et al. Bauschäden im Spezialtiefbau, Institut für Bauschadensforschung e.V., Heft 3, Eigenverlag, Hannover, 1990
- Schneider, J. Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen: Grundwissen für Ingenieure, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich und B.G. Teubner, Stuttgart, 1996
- Vogel, J. Untersuchungen bauschadensrelevanter Faktoren beim Vorpressen begehrter Rohre, Heft 35 der Mitteilungsreihe des Instituts für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover, 1993
- Zadeh, L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, Electronics research laboratory, University of California, Berkeley, 1977
- Zimmermann, H.-J. Fuzzy-Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale, VDI-Verlag

GmbH, Düsseldorf, 1993