



Forschungsberichtsblatt

Thema:	Ermittlung der Grundwassergefährdung mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze zur nachhaltigen Wasserbewirtschaftung
Förderprogramm:	Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS)
Förderkennzeichen:	BWR 22026
Projektleiter:	Prof. Dr. H. Hötzl

1. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit lag in der Entwicklung einer neuen, auf künstlichen neuronalen Netzen basierenden Methode zur Einschätzung der spezifischen Grundwassergefährdung, die es erlaubt, Schadstoffgehalte im Grundwasser und damit dessen potentielle Gefährdung vorauszusagen. Neuronale Netze bieten dabei gegenüber anderen Methoden den Vorteil, beliebig komplexe mathematische Funktionen aus Beispieldaten zu extrahieren und dabei relativ robust gegenüber unscharfen Eingangsdaten zu sein. So kann das komplexe Zusammenspiel der zahlreichen Faktoren und Prozesse, die zur Grundwassergefährdung beitragen, besser als bei herkömmlichen Methoden berücksichtigt werden.

Schwierig war vor allem, das „abstrakte Maß“ Grundwasserrisiko an einem messbaren Parameter fest zu machen. Letztendlich wurde die Entscheidung getroffen, als Maß für das Grundwasserrisiko aktuelle Schadstoffverteilungen im Grundwasser heranzuziehen, was zwar einige Probleme aufwarf, aber auch Vorteile mit sich bringt. Geht man davon aus, dass in einem bestimmten Gebiet der Zusammenhang zwischen Grundwasserrisiko und Schadstoffgehalt gegeben ist, es sich also um ein „reifes“ Gebiet handelt, in dem überall dort, wo das Risiko einer Verschmutzung hoch ist, auch bereits eine Verschmutzung eingetreten ist, so hat man mit dem Schadstoffgehalt gleichzeitig einen einfachen Verifizierungsparameter gegeben.

Die Grundwasserrisikointensität ist eine Funktion der Vulnerabilität und der vorhandenen Hazards. Beide sollten daher als Eingangsfaktoren berücksichtigt werden. Für die Vulnerabilität wurden je nach Situation im Testgebiet und Datenverfügbarkeit diverse Parameter herangezogen. Die Hazards wurden in Form der spezifischen Hazard-Karte und zum Teil auch in Form von Landnutzungsdaten berücksichtigt.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Methodik zwar prinzipiell geeignet ist, komplexe Vorgänge, wie sie die Grundwassergefährdung zur Grundlage hat, abzubilden, aber es müssen alle relevanten Faktoren als Eingangsparameter berücksichtigt werden bzw. die benötigten Daten verfügbar sein. Schwierig ist dies bei sehr komplexen Grundwasserfließverhältnissen, wie sie beispielsweise im Karst auftreten. Eine Kombination von Transportmodellierung mit neuronalen Netzen könnte hier ein vielversprechender Ansatz sein.

2. Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse

Im Unterschied zu herkömmlichen Methoden wurde zunächst nicht die Vulnerabilität bestimmt und diese dann mit der Hazard-Karte zur Grundwasserrisikointensität verrechnet, sondern es wurde eine völlig neue Methode entwickelt, die aus präsentierten Beispieldaten selbst einen

optimalen Zusammenhang von Schadstoffgehalten (die als Maß für die Grundwasserrisikointensität dienen) und gegebenen Eingangsparametern (Vulnerabilitätsparameter und Hazards) extrahieren und speichern. Da es sich auf Grund der Eichung der Grundwasserrisikointensität an aktuellen Schadstoffgehalten als schwierig herausstellte, eine intrinsische Grundwasserrisikointensität, die von einem hypothetischen konservativen und persistenten Schadstoff ausgeht, auszuweisen, wird mit der neuen Methodik ausschließlich die oben definierte spezifische Grundwasserrisikointensität bestimmt.

Im Laufe der Arbeit hat sich außerdem gezeigt, dass das sog. Pruning im Gegensatz zur herrschenden Lehrmeinung, zumindest in den untersuchten Fällen, nicht zu den gewünschten Ergebnissen, nämlich zu einer Reduktion der verwendeten Eingabeparameter bei gleich bleibender oder sogar verbesserter Generalisierungsleistung führt. Über eine Art „manuelles Pruning“, bei dem die Eingangsparameter händisch entfernt werden, kann aber auf eine Korrelation des Ausgabeparameters, also in diesem Falle der Schadstoffgehalte, mit den verwendeten Eingabeparametern geschlossen werden.

3. Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis

Der große Vorteil neuronaler Netze gegenüber anderen Methoden ist sicher deren Fähigkeit, mathematische Zusammenhänge aus Beispieldaten zu erlernen und dabei relativ robust gegenüber unscharfen Eingangsdaten zu sein. Allerdings hat sich bei den hier durchgeführten Untersuchungen gezeigt, dass neuronale Netze, wie mathematische Modelle auch, von einer gut untersuchten, umfangreichen Datenbasis profitieren. Sie können zwar besser mit Messfehlern umgehen, aber auch nur bis zu einem gewissen Grad. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Codierung nicht bereits numerisch vorliegender Werte wie Bodentypen oder Lithologien unabhängig von entsprechenden Kennzahlen wie Durchlässigkeitsbeiwerten o. ä. in einer einfachen Klasseneinteilung erfolgen kann.

Als ein Nachteil aus wissenschaftlicher Sicht ist dabei sicher zu werten, dass es sich um eine Art Black-Box-Werkzeug handelt. Letztendlich kann man die von einem neuronalen Netz gefundenen Zusammenhänge zwar validieren und später zur Generalisierung nutzen, es lässt sich aber nicht auslesen, welcher Art genau diese Zusammenhänge aus mathematischer oder physikalischer Sicht sind, sprich, welche quantifizierbaren kausalen Zusammenhänge hinter einem trainierten neuronalen Netz stecken.

Für die praktische Umsetzung der hier entwickelten Methode besteht weiterer Forschungsbedarf. Um ein für die Erfüllung der Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie bei den entsprechenden Behörden einsatzfähiges Werkzeug zu schaffen, müsste zudem die Benutzerfreundlichkeit erhöht werden. Die momentan vorhandenen Schnittstellen an das GIS erfordern informatisches Expertenwissen. Die Bedienung ist zwar erlernbar, gestaltet sich jedoch etwas umständlich, vor allem beim Export über das Perl-Script sowie den Re-Import mit dem Umweg über eine Tabellenkalkulation und eine Datenbank. Besser wäre eine direkte Integrierung von neuronalen Netzen in das GIS oder zumindest in entsprechenden Statistik-Programmen. Es existieren zwar bereits kommerzielle Programm-Pakete im Bereich Statistik, die neuronale Netze als Bestandteil aufweisen, diese haben jedoch nicht den benötigten Funktionsumfang und sind zudem erheblich teurer als die hier eingesetzte Lösung.

Darüber hinaus wäre eine Weiterentwicklung der Methodik auf die Einschätzung der intrinsischen Grundwasserrisikointensität, die mit der hier entwickelten Methode nicht direkt bestimmt werden kann, wünschenswert. Ebenfalls interessant erscheinen neben den hier durchgeführten räumlichen Vorhersagen zeitliche Vorhersagen im Sinne eines Prognosewerkzeugs, sowie wie ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit anderen Methoden, vor allem der Geostatistik.