

# **GIS-integriertes fuzzy-regelbasiertes Modell zur ökologischen Auswirkungsprognose bergbaulicher Umwelteinwirkungen**

Dipl.-Biol. Michael Kelschbach, Institut für Landschaftsentwicklung und Stadtplanung  
Dipl.-Ing. Stefan Nickel, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch, Technische Universität Clausthal  
Dipl.-Ing. Volker Staeger, Dipl.-Ing. Peter Vosen, Deutsche Steinkohle AG

## **Abstract**

Der untertägige Steinkohlenabbau führt an der Tagesoberfläche über ein komplexes Wirkungsgefüge zu Auswirkungen auf Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden, Biotope, Fauna, Land- und Forstwirtschaft, Freizeit und Erholung.

Die unvermeidbare Unschärfe in der Prognose der umweltrelevanten Auswirkungen bedingt, dass der gesamte Zeitraum des Abbaus durch ein System der Umweltbeobachtung (Monitoring), Kurzzeitprognosen und schrittweisen Eingriffsregelung (alle 2 Jahre) begleitet wird.

Angesichts der Komplexität dieser Aufgabenstellung und der anfallenden Datenmengen kann dies nicht ohne EDV-Einsatz durchgeführt werden. Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens der Deutschen Steinkohle AG wurden in den letzten Jahren umfangreiche Grundlagen, Modelle und Computerwerkzeuge zur Unterstützung der ökologischen Auswirkungsprognose entwickelt.

Ausgangspunkt der Auswirkungsprognose sind zunächst die durch den Steinkohlenbergbau verursachten Senkungen der Erdoberfläche, die über verschiedene Mechanismen zu Modifizierungen der Grundwasserpotentiale bzw. der Grundwasserflurabstände führen. Veränderungen der Feuchtesituation bodenkundlicher Standorte und damit vegetationskundlicher Standortpotentiale sind die Folge. Daneben sind Veränderungen der land-/forstwirtschaftlichen Nutzungspotentiale bzw. Nutzungen relevant, die neben dem floristischen Artenpotential und den vegetationskundlichen Standortbedingungen als Einflussgrößen für räumlich und zeitlich differenzierte Sukzessionsprozesse betrachtet werden. Das Wirkungsgefüge weist sowohl deterministische als auch stochastische Elemente (v.a. Nutzungsänderung, spontane Sukzession) auf.

In der Auswirkungsprognose dienen Biotoptypen als Indikatoren für die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts. Für die EDV-technische Unterstützung der Auswirkungsprognose wurde das vorliegende Expertenwissen im Dialog zwischen den naturschutzfachlichen Gutachtern und Modellierern erschlossen und für den Aufbau diverser regelbasierter Modelle eingesetzt. Das auf dieser Grundlage entstandene GIS-integrierte fuzzy-regelbasierte Modell ermöglicht nach Koppelung mit einem stationären 3D-Grundwassermodell die Ermittlung und Prognose von Standortpotentialen der Böden sowie eine darauf aufbauende Auswirkungs- und Biotoptypenprognose.

Die ökologische Auswirkungsprognose liefert die Grundlage für die Planung gegensteuernder Maßnahmen und des nächsten Monitoringzeitschnittes.

## 1 Einleitung

Der untertägige Abbau von Steinkohle verursacht Hohlräume, die sich unter dem auflastenden Gebirgsdruck schließen. Die Fortsetzung dieser Bewegungen bis zur Tagesoberfläche führt dort zu Senkungen, die in der Umwelt ein komplexes Wirkungsgefüge auslösen.

Unmittelbare Auswirkungen ergeben sich auf das Grundwasser durch Änderungen der Grundwasserströmungsrichtungen und der –flurabstände sowie auf Oberflächengewässer durch Änderungen der Einzugsgebiete und der Sohlgefälle.

Außerdem können Infrastruktureinrichtungen über Zerrungen und Pressungen unmittelbar betroffen sein. Die Veränderungen im Wasserhaushalt führen zu mittelbaren Auswirkungen auf den Boden und damit die ökologischen Standortbedingungen (ggf. auch auf Altlastenstandorte).

Diese bestimmen mögliche Reaktionen der Flora sowie der land- und fortwirtschaftlichen Nutzungseignung. Schließlich wird die Eignung der Biotope als Lebensraum für die Fauna sowie die Freizeit- und Erholungsnutzung durch den Menschen beeinflusst (STAEGE, 2006).



*Abbildung 1: Bergbaubedingter Vernässungsbereich in einem Senkungsgebiet*

Charakteristisch für den Steinkohlenabbau ist die Dynamik des Abbaugeschehens aufgrund der unter Tage vorgefundenen Tektonik und die Langfristigkeit der Planung. So umfasst der Rahmenbetriebsplan des Bergwerkes Prosper-Haniel den Zeitraum von 2001 bis 2019 und ein Untersuchungsgebiet von rund 10.000 ha, das sich über Teile der kreisfreien Städte Bottrop und Oberhausen sowie des Kreises Wesel erstreckt.

Die Komplexität des Wirkungsgefüges und die anfallenden Datenmengen erfordern einen vielschichtigen EDV-Einsatz (KELSCHEBACH UND NESSELHAUF, 2000). In einem

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Deutschen Steinkohle AG (DSK) wurde in den Jahren 2005 bis 2007 ein computergestütztes Modell für die ökologische Auswirkungsprognose der bergbaulichen Umwelteinwirkungen entwickelt (MATEJKA ET AL., 2005; VOSEN ET AL., 2006).

## **2 Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen**

Die Auswirkungsprognose ist aufgrund der Dynamik des Abbaugeschehens und stochastischer Elemente im Wirkungsgefüge, wie beispielsweise des Klimaganges, spontaner Sukzession oder anthropogener Nutzungsänderungen unscharf.

Deshalb wurde der Planfeststellungsbeschluss zum Rahmenbetriebsplan des Bergwerkes Prosper-Haniel vom 12.04.2001 (und anderer Bergwerk in den Folgejahren ebenso) mit der Verpflichtung zu einem zweijährigen Monitoring der Umwelteinwirkungen verknüpft (BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG, 2002). Im Turnus von zwei Jahren werden im Fachbeitrag zum Rahmenbetriebsplan "Abbaueinwirkungen auf Natur und Landschaft" Kurzzeitprognosen über die weiteren Auswirkungen getroffen und ggf. gegensteuernde Maßnahmen konzipiert. Auf der Grundlage der Monitoringergebnisse wird im Fachbeitrag in Zweijahresschritten die Eingriffsregelung durchgeführt.

Dem Wirkungsgefüge entsprechend umfasst das Monitoring mehrere Fachgebiete (ILS, 2003).

Im Senkungsmonitoring wird erfolgter Steinkohlenabbau durch markscheiderische Neuberechnungen berücksichtigt. Senkungsvorausberechnungen (WIELAND, 2001) aufgrund der konkreten Abbauplanung liefern die benötigten Zweijahresprognosen.

Das photogrammetrisch erzeugte, digitale Höhenmodell (DHM) wird entsprechend abgesenkt, woraus sich das prognostizierte DHM ergibt.

Im Grundwassermonitoring erfolgen an ca. 200 Messstellen im Monitoringgebiet kontinuierliche Messungen der Grundwasser-Ganglinien. Mit Hilfe der Senkungsvorausberechnungen werden in einem dreidimensionalen, stationären Grundwasserströmungsmodell (DR. RÜBER, 1997) die künftigen Grundwasserpotentiale prognostiziert.

Im wasserwirtschaftlichen Monitoring wird in jährlichen Gewässerschauen die Vorflutsituation im Gebiet beobachtet. Auf Grundlage der Senkungsvorausberechnungen werden künftige Änderungen der Vorflut und des Sohlgefälles der Fließgewässer berechnet. Die Ergebnisse werden in den Simulationen des Grundwasserströmungsmodells berücksichtigt.

Im Senkung-, Grundwasser- und wasserwirtschaftlichen Monitoring werden die abiotischen Wirkungsfaktoren beobachtet und prognostiziert, die der Auslöser für ökologische Auswirkungen sind.

Im Fließgewässermonitoring werden auf ca. 50 Dauerbeobachtungsflächen (DBF) Morphologie, Umfeld, Chemismus und Biozönose der Gewässer beobachtet. Die ökologischen Auswirkungen der Vorflut- und Gefälleänderungen werden analysiert und prognostiziert.

Entsprechendes geschieht an den ca. 20 Stillgewässern im Gebiet im Rahmen des Stillgewässermonitorings.

Im faunistischen Monitoring wird über die Fauna der Gewässer hinaus die Avifauna ausgewählter Teilräume im bergbaulichen Einwirkungsbereich beobachtet.

Im Monitoring des Bodens und der Biotoptypen, auf deren Prognose sich das F&E-Vorhaben der DSK konzentrierte, erfolgt zur Ermittlung und Bewertung von Veränderungen im zweijährlichen Turnus des Monitorings eine flächendeckende Biotoptypenkartierung. Diese wird unterstützt durch IKONOS-Satellitenaufnahmen und eine CIR-Befliegung zur Fernerkundung der Vitalität der Wälder im Monitoringgebiet.

Auf 94 ca. 100 m<sup>2</sup> großen Dauerbeobachtungsflächen werden mit der Methode Dahmen (DAHMEN ET AL., 1976) Punktdaten über Boden und Vegetation erhoben. In 5- bis 8-stufigen Skalen werden die primären Standortfaktoren Bodenfeuchte, Basenversorgung, Sauerstoffversorgung und Nährstoffversorgung im Ökoschlüssel angegeben (DAMEN & SIMON, 1997).

Die Punktdaten werden mit Hilfe der Biotoptypenkartierung, der Bodenkarte 1 : 5.000 und der Simulation der Grundwasserflurabstände in die Fläche übertragen. Standorteinheiten, die hinsichtlich Biotoptyp, Bodentyp, Bodenart und Grundwasserflurabstand homogen sind, stellen als "Ökoraumeinheiten" die Basisgrößen der ökologischen Auswirkungsprognose und des zugehörigen GIS-Modells dar.

Allgemeine Klimadaten des Klimabereiches, dem das Monitoringgebiet angehört und Messdaten einer örtlichen Klimastation vervollständigen die fortwährend aktualisierte Bestandsaufnahme, die die Ausgangsbasis für die ökologische Auswirkungsprognose liefert.

### **3 Modellierung der ökologischen Auswirkungsprognose**

Mit Hilfe der prognostizierten Grundwasserflurabstände werden die künftigen primären Standortfaktoren prognostiziert, die als Ökoschlüsselprognose für Standorteinheiten kartographisch dargestellt werden können.

Die Auswirkungen der Standortveränderungen auf die betroffenen Biotoptypen hängen von deren Standorttoleranz ab und werden mit dem System der Betroffenheitsgrade beschrieben (ILS, 1999). Darin wird die künftige Nutzungseignung für die Land- oder Forstwirtschaft und die Möglichkeit eines Wechsels des Biotoptyps beschrieben.

Somit ist die Prognose der Betroffenheitsgrade eng gekoppelt mit der Prognose der Biotoptypen, in der ferner die Entwicklungszeiten der Biotoptypen und das Artenpotential der näheren und weiteren Umgebung berücksichtigt werden.

Kartographisch und im GIS sind die Betroffenheitsgrade und die künftigen Biotoptypen jedoch getrennt, weil sie unterschiedliche Aggregationen der Ökoraumeinheiten sind. So kann sich ein Betroffenheitsgrad aus mehreren künftigen Biotoptypen zusammensetzen, wenn beispielsweise Vitalitätsrückgang verschiedene benachbarte Waldtypen betrifft. Andererseits kann sich auch ein künftiger Biotoptyp aus verschiedenen Betroffenheitsgraden zusammensetzen, wenn beispielsweise ein Waldtyp in einem Teilbereich mit Vitalitätsrückgang des Baumbestandes reagiert, während in einem angrenzenden Teilbereich des selben Bestandes lediglich eine feuchtere Ausprägung des Unterwuchses prognostiziert wird.

Für die Modellierung der ökologischen Auswirkungsprognose bot sich die Fuzzy-Set-Theorie bei zwei Arbeitsschritten an. So ist zum einen die Korrelation zwischen den Grundwasserflurabständen und den Stufen der Bodenfeuchte, die in der ersten Ziffer des Ökoschlüssels ausgedrückt wird, unscharf.

Zum anderen sind die Grenzen der Standortbereiche der Biotoptypen und damit ihre Empfindlichkeit gegenüber Standortveränderungen ebenfalls unscharf.

Die Monitoringdaten liefern einen empirisch ermittelten Stichprobenraum für die Modellierung und ermöglichen die Kalibrierung des Modells an die spezifischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes.

Die bodenkundlichen Feuchtestufen werden mit dem Niedersächsischen Bodeninformationssystem (BENZLER ET AL., 1987; MÜLLER, 2004) ermittelt, weil in dieser Methode die Grundwasserflurabstände mit den Feuchtestufen korreliert sind. Dabei ergibt sich das Problem, dass der kontinuierliche Charakter der physikalisch basierten Eingangsgrößen (mittlere Grundwasserflurabstände) im diskret-kombinatorischen Regelwerk nicht realistisch wieder gegeben werden kann, weil es zu Sprüngen an den Klassengrenzen der Feuchtestufen kommt. Hier schaffen Fuzzy-Sets eine Brücke zwischen der wert-diskreten Skala der Feuchtestufen und der wert-kontinuierlichen Skala der Grundwasserflurabstände und ermöglichen so eine bessere Annäherung des Modells an die Realität. Die Feuchtestufen sind unscharfe Begriffe, die mit Zugehörigkeitsfunktionen über dem Definitionsbereich des mittleren Grundwasserflurabstandes als Fuzzy-Mengen beschrieben werden.

In der Fuzzifizierung wird jedem Wert der kontinuierlichen Eingangsgrößen Grundwasserflurabstand, Ton- und Schluffgehalt, mit Hilfe der Zugehörigkeitsfunktionen eine bestimmte Menge unscharfer Begriffe zugeordnet, die in einem diskreten kombinatorischen Regelwerk weiterverarbeitet werden (Abb. 2).

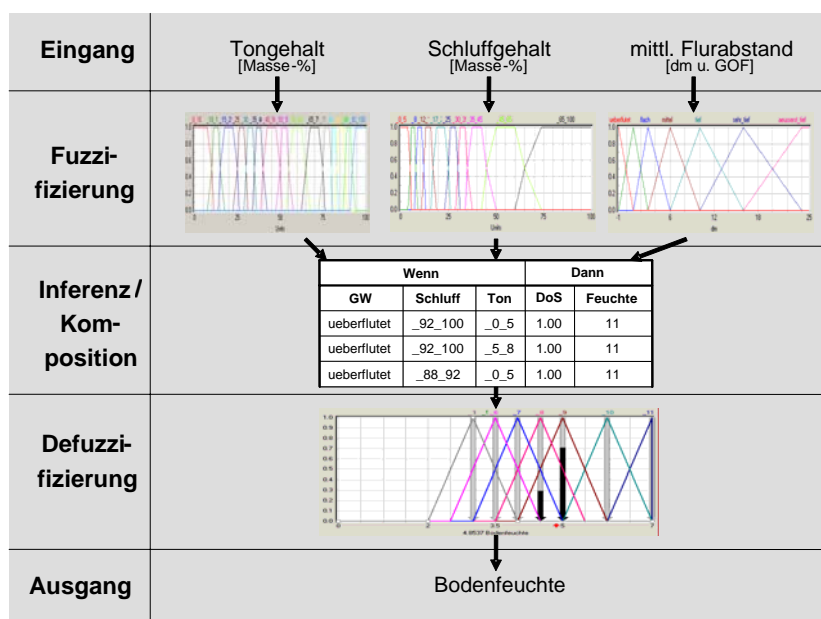


Abbildung 2: Prinzip des fuzzy-regelbasierten Systems zur Ermittlung der Bodenfeuchte

Durch Inferenz wird der Wahrheitsgehalt jeder Regel und der Fuzzy-Ausgang berechnet. Dies sind die Bodenfeuchtestufen als unscharfe Mengen.

In der Defuzzifizierung werden diese unscharfen Mengen in eindeutige Feuchtestufen übersetzt. Gleichzeitig erfolgt der Transfer der Bodenfeuchtestufen aus der Klassifizierung nach Müller in diejenige nach Dahmen. Durch Veränderung der Zugehörigkeitsfunktionen über der Grundmenge der Feuchtegrade kann das Modell mit Hilfe empirischer Daten kalibriert werden.

Zur Berücksichtigung der pflanzenökologischen Standorteignung bildet das Modell Standortbereiche von Biotoptypen. Dazu wurden den Biotoptypen jeweils mehrere Pflanzenarten zugeordnet, die Charakter und Standortansprüche der Biotoptypen im Untersuchungsgebiet annähernd repräsentieren. Aus den Toleranzspannen der Arten bzgl. der primären Standortfaktoren des Ökoschlüssels werden die Standortbereiche der Biotoptypen abgeleitet (Tab. 1). Deren Grenzen sind wegen der unterschiedlichen Standortansprüche der charakteristischen Pflanzenarten und der hohen Variabilität ökologischer Systeme unscharf. Hinzu kommt, dass die Identität eines Biotoptyps bei allmählichen Standortveränderungen erst nach und nach durch Ausfall oder Neuerscheinung der einen oder anderen Art verändert wird.

Biotoptyp	Bezeichnung	Typische Pflanzenarten	Bodenfeuchte	Säurestufe	O <sub>2</sub> -Versorgung	Nährstoffversorgung
AA1	Eichen-Buchenwald	Dryopteris carthusiana	3-6 (z. 7)	1-3	2-3	1-3
		Fagus sylvatica	2-3	2-6	3-4	3-4
		Ilex aquifolium	2-4	2-4	3-4	2-3
		Luzula sylvatica	3-4	1-3	3-4	1-3
		Maianthemum bifolium	2-3	2-4	3-4	2
		Milium effusum	2-3	3-5	3-4	3-4
		Oxalis acetosella	3-4	2-3	3-4	2-3
		Pteridium aquilinum	2-3	1-3	2-3	2-3
		Quercus petraea	1-4	2-6	4-5	2-4
		Quercus robur	1-5	1-6	2-4	1-4
		<b>Amplitude</b>		2-3	2-5	3-4

Tabelle 1: Charakterisierung des Standortbereichs für den Eichen-Buchenwald nach Dahmen & Dahmen (1994)

Daher bietet sich die Beschreibung der Standortbereiche für jeweils einen Standortfaktor durch Fuzzy-Sets an. Dabei repräsentiert die Steilheit der Trapezfunktionen über den einzelnen Standortfaktoren die Unschärfe an den Rändern der Standortbereiche.

Die so modellierten Fuzzy-Standorttoleranzen wurden mit Hilfe empirischer Kenntnisse aus seit Mitte der 90er Jahre erfolgenden Dauerbeobachtungen an die Bedingungen im Untersuchungsgebiet angepasst.

Die Verknüpfung der einfaktoriellen Standortbereiche führt zum mehrfaktoriellen Standortbereich. Dabei ist jeder einzelne Standortfaktor Minimumfaktor (MIN-Operator) für das Pflanzenwachstum.

Für vorgegebene oder sich ändernde Standorteigenschaften kann eine ein- oder mehrfaktorielle Standorteignung für einen Biotoptyp ermittelt werden.

In der Terminologie der Fuzzy-Logic ist die Standorteignung der Zugehörigkeitsgrad eines Standortes zur Menge der von einem Biotoptyp tolerierten Standorte.

Mit Hilfe der Eignung der prognostizierten Standorte für die Ausgangsbioptypen wird deren Betroffenheit und die künftige land- und forstwirtschaftliche Nutzungseignung ermittelt. Diese wird durch das System der Betroffenheitsgrade beschrieben. Formal gesehen ist die Prognose der Betroffenheitsgrade ein mehrstufiger Klassifikationsprozess, der aus Wirkfaktoren (z. B. Grundwasseranstieg) und Wirkungen (z.B. Biotop toleriert den Standort nicht mehr) eine

Zuordnung zu einem der Betroffenheitsgrade liefert. Dieser Prozess wurde als nutzerdefinierter Klassifikationsbaum in das wissensbasierte GIS integriert (Abb. 3).

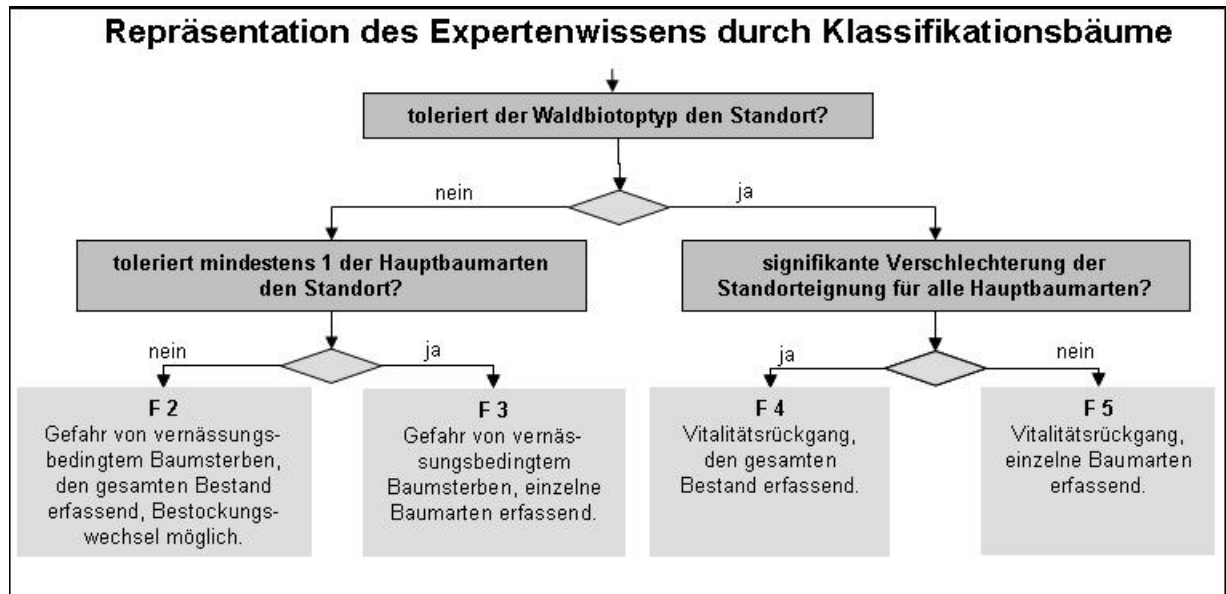


Abbildung 3: Bestimmung der Betroffenheitsgrade von Biotypen (ILS, 1999)

Die Bestimmung der Betroffenheitsgrade ermöglicht als letzten Schritt des Modells die Prognose der Biotypen.

So bedeutet beispielsweise der Betroffenheitsgrad F2 ("Gefahr von vernässungsbedingtem Baumsterben, den gesamten Bestand erfassend, Bestockungswechsel möglich") einen Wechsel zu einem neuen (Sekundär-)Biotypen. Die Wahl dieses Biotyps ist abhängig von den prognostizierten Standorteigenschaften, der bis zum prognostizierten Zeitschnitt zur Verfügung stehenden Entwicklungszeit und dem verbreitungsökologisch relevanten Artenpotential.

Demgegenüber determiniert der Betroffenheitsgrad F3 ("Gefahr von vernässungsbedingtem Baumsterben, einzelne Baumarten erfassend") die Wahl des künftigen Biotyps. Wird beispielsweise der Standort eines Buchen-Eichenwaldes für die Buchen zu feucht, während die Eichen ihn weiterhin tolerieren, ist ein Eichenwald zu prognostizieren, dem bei längeren Prognosezeiträumen natürlich weitere, hinreichend feuchtetolerante Baumarten hinzugefügt werden können.

Wird Vitalitätsrückgang prognostiziert (Betroffenheitsgrade F4, F5), so resultiert (zumindest bei Kurzzeitprognosen über wenige Jahre) die Beibehaltung des betroffenen Ausgangsbiotyps.

## 4 Fazit

Die Modellierung des vorhandenen Expertenwissens führte zur Erhöhung der Effizienz und Reproduzierbarkeit der ökologischen Auswirkungsprognose.

Die Anwendung von Fuzzy-Logic ermöglichte eine realitätsnahe Berücksichtigung der Unschärfen und Varianten im Wirkungsgefüge.

Das Modell wurde in das ArcGIS-basierte Umweltmonitoring-Informationssystem der DSK (DSK-UMIS) integriert und konnte so im Monitoring Prosper-Haniel bereits erfolgreich angewendet werden (Abb. 4).

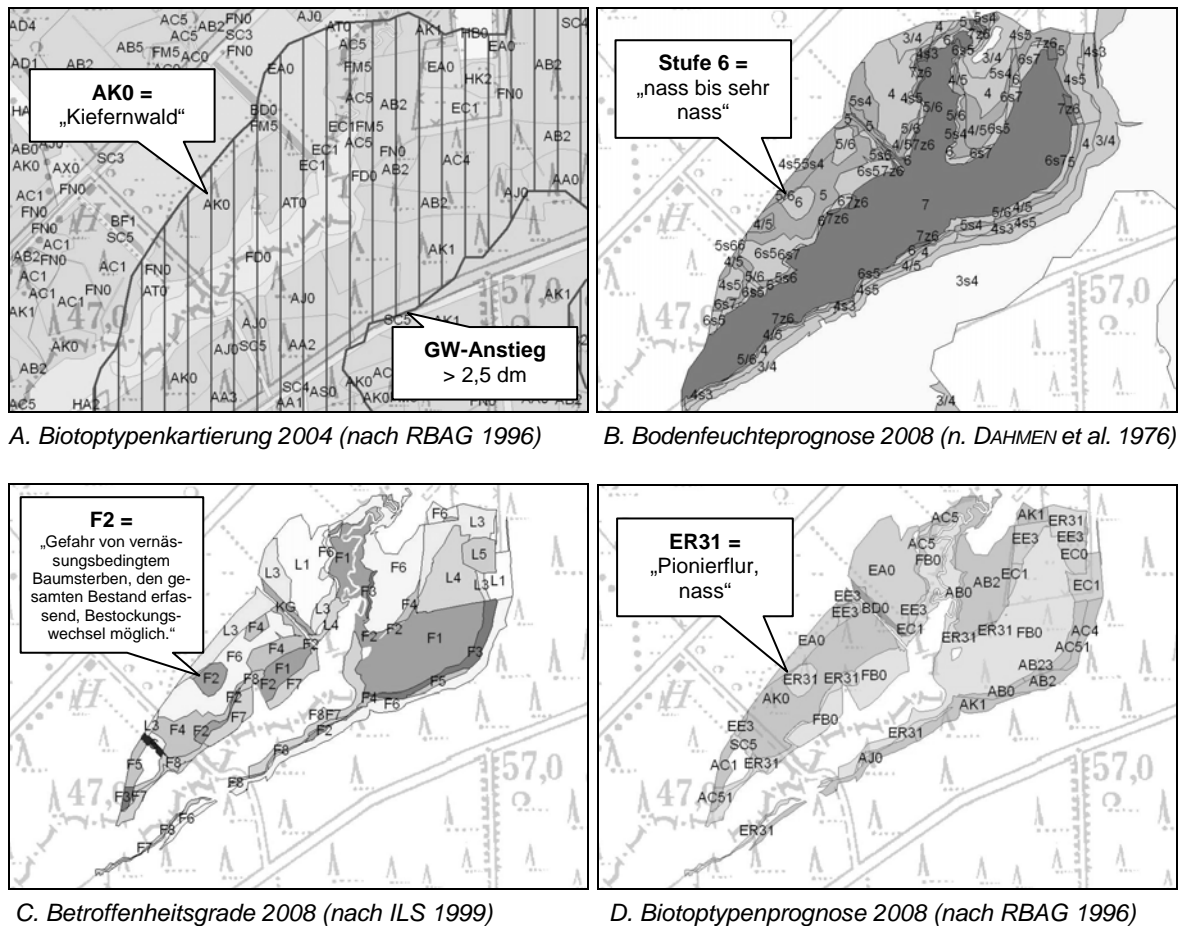


Abb. 4: Modellanwendung im Monitoringgebiet Prosper-Haniel

Die Modellergebnisse müssen fachlich interpretiert und in Einzelfällen korrigiert werden. Dies erfolgt in der Regel aufgrund detaillierter Ortskenntnisse und Monitoringbefunde sowie Kenntnisse über Parameter, die nicht modelliert sind, wie beispielsweise das Verhalten anderer Raumnutzer (unplanmäßige Räumung von Entwässerungsgräben o.ä.).

Eine Übertragung des Modells auf andere Untersuchungsgebiete oder Fragestellungen ist durchaus möglich, erfordert allerdings Anpassungen. So gelten z.B. die durch typische Pflanzenarten charakterisierten Standortbereiche der Biotoptypen bisher nur für das Monitoringgebiet Prosper-Haniel. In anderen Untersuchungsräumen können andere pflanzensoziologische Einheiten die Ausprägung der Biotoptypen bestimmen, so dass dort andere Pflanzenarten "typisch" sind und die Standortbereiche der Biotoptypen an die örtlichen Gegebenheiten entsprechend anzupassen sind.

## 5 Literatur

- BENZLER, J.-H., ECKELMANN, W. & OELKERS, K.-H. (1987): Ein Rahmenschema zur Kennzeichnung der bodenkundlichen Feuchtesituation. – Mitteilungen d. Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 53, 95 – 101
- BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG (2002): Monitoringkonzept zur Erfassung der bergbaulichen Einwirkungen im Bereich Kirchheller Heide/Hünxer Wald für den Zeitraum bis 2019. – Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie (Stand: 21. Juni 2002)
- DAHMEN, F. W. & DAHMEN, H.-CH. (1994): Terra Botanica – Wildpflanzen-Datenbank und Informationssystem, Blankenheim
- DAHMEN, F. W., DAHMEN, G. & HEISS, W. (1976): Neue Wege der graphischen und kartographischen Veranschaulichung von Vielfaktorenkomplexen.“ Decheniana 129, 145-178
- DAHMEN, W. & SIMON, I. (1997): „Beschreibung pflanzenökologischer Standortpotentiale mit Hilfe der Vegetation und primärer Standortfaktoren. – In: UVP-Report, 4 + 5, 1997
- INSTITUT FÜR LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND STADTPLANUNG (ILS; 1999): Umweltverträglichkeitsstudie zum Steinkohlenabbau-Vorhaben Kirchheller Heide / Hünxer Wald. Im Auftrag der Deutschen Steinkohle AG, Herne
- INSTITUT FÜR LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND STADTPLANUNG (ILS, 2003): Musteranforderungsprofil Monitoring in Einwirkungsbereichen des Steinkohlenbergbaus. Im Auftrag der Deutschen Steinkohle AG, Herne
- KELSCHEBACH, M. & NESSELHAUF, G. (2000): GIS-gesteuerte interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Bestandserfassung und Auswirkungsprognose zu dynamischen Potentialveränderungen im Landschaftshaushalt. In: Glawion, R. & Zepp, H. (Hrsg.): Probleme und Strategien ökologischer Landschaftsanalyse und –bewertung. Forschungen zur Deutschen Landeskunde Bd. 264, S. 83-106. Deutsche Akademie für Landeskunde, Selbstverlag Flensburg.
- MATEJKA, H., BUSCH, W., GORCZYK, J., MAUERSBERGER, F., NICKEL, S. & VOSEN, P. (2005): Metadatenkonzepte zur Unterstützung der GIS-Bearbeitung im Monitoring bergbaulicher Umweltauswirkungen. - Seyfert, E. (Hrsg.): 25. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Rostock, 21. – 23. September 2005, S. 65 – 74.
- MÜLLER (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems. Technische Berichte zum NIBIS, 7. erweiterte und ergänzte Auflage, Herausgegeben vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover
- RUHRKOHLE BERGBAU AG (RBAG, 1996): Biotoptypen – Kartierschlüssel für den Landschaftsraum und Nutzungen-/Biotoptypenschlüssel für den besiedelten Raum und dessen Randzonen für UVS der RBAG. - EDV-Konzept II - DEEP-Datenbank
- RÜBER, O. (1997): Dreidimensionale Grundwasserströmungsmodellierung zur Beurteilung von bergsenkungsbedingten Veränderungen der Grundwassersituation im Bereich der Kirchheller Heide. In: Coldewey, W. G. & Löhnert, E. P. (Hrsg.): Grundwasser im Ruhrgebiet. Köln, S. 243 - 248.

- STAEGE, V. (2006): Die Rahmenbetriebspläne mit Umweltverträglichkeitsprüfung für die Gewinnung von Steinkohle im Ruhrrevier – eine Zwischenbilanz. – In: Markscheidewesen 113, Nr. 2
- VOSEN, P., SPRECKELS, V., BUSCH, W., FISCHER, CHR. & MATEJKA, H. (2006): Einsatz von Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS im Umweltmonitoring der Deutschen Steinkohle AG. In: Markscheidewesen 113 (2006) Nr. 3, S. 95 - 113
- WIELAND, R. (2001): CadBERG - Eine kurze Einführung über das Verfahren zur Vorausberechnung von Gebirgs- und Bodenbewegungen. User manual: CadBERG