

Abstract

Land subsidence caused by underground longwall mining impacts the surface water and groundwater systems respectively. As subsidence continues with the progression of mining, changes the morphology of the overlying watercourse and interrupts the groundwater system beneath. Modelling such dynamic processes of high spatial and temporal variability is of great importance for water resources and risk management.

The study site, located in the Ruhr District of Germany, experienced longwall mining to extract the Carboniferous coal deposits from a depth of about 1000 m. This resulted in an increasing subsidence with time. The geometry of the watercourse overlying mined out panels deformed and the thickness of the layer to the groundwater table reduced. Thus a lake “Schwarzer Bach Lake” has been formed, in the trough, along the channel.

Therefore, the presented research work aimed to investigate the dynamic changes in the hydrologic and hydrogeologic systems due to mine subsidence in the area, and to develop a procedure for monitoring and forecasting the impacts of mining induced subsidence with time. The procedural steps implemented in the research work consists of developing a hydraulic numerical model and coupling it into an adjusted groundwater model that the physical flow processes in both systems are evaluated.

A transient hydraulic model in a series of five simulations with two year’s time lag in-between has been developed for the investigated time period. The obtained results from the hydraulic model showed the “lake-building process” progression over time and provided robust delineation of lake’s shoreline.

In order to completely coupling the hydro-geoprocesses of the interactive systems of “*subsidence - surface water - groundwater*”, the hydraulic model scenarios of two simulated years have been coupled into the respective scenarios of the groundwater model taking mine subsidence into consideration as the “affecting factor” for the underneath aquifer in relation to surface water. Therefore, transient terrain settlement data have been incorporated into the groundwater model for the respective years.

Due to occurrence of subsidence the distance between groundwater level and ground surface reduced significantly generating a lake. As subsidence continued further, the lake's shoreline expanded to its present morphology. The terrain settlement and generation of the lake impacted the groundwater flow velocity and flow direction leading to a new distribution of the water divide. Groundwater exfiltration continuously increased until a complete assimilation of the groundwater body into the existing surface water system become pronounced in the most advanced stage of the investigation.

The modelled post-mining stage of groundwater and surface water systems show that every component of the groundwater regime has been extensively impacted from mining operation beneath the modelled segment of the channel. As a consequence of the land deformation above the mined out panels, the boundary between the overlying alluvial sediments ('river bed') and the groundwater table diminished completely resulting into free flow of the groundwater into the channel and subsequently generated the "Schwarzer Bach Lake" as a new element of landscape.

Keywords: land subsidence, underground longwall mining, Ruhr district, surface water, groundwater, modelling, hydrologic and hydrogeologic systems, interaction, lake's shoreline, water resources, GIS.

Kurzfassung

Bodenbewegungen, die durch untertägigen Abbau im Strebbauverfahren verursacht werden, beeinflussen sowohl Oberflächenwasser- als auch Grundwassersysteme. Bei lang anhaltenden Senkungen aufgrund des fortschreitenden Bergbaus, ändert sich die Morphologie der darüber befindlichen Wasserläufe und es kommt zu Störungen des darunterliegenden Grundwassersystems. Die Modellierung solcher dynamischer Prozesse mit hoher räumlicher und zeitlicher Variabilität sind von großer Bedeutung für das Wasserressourcen- und Risikomanagement.

Im Untersuchungsgebiet, welches sich im Ruhrgebiet in Deutschland befindet, wurden im Strebbauverfahren karbonische Kohleflöze bis in eine Teufe von etwa 1000 m abgebaut. Mit der Zeit kam es zu einem Anstieg der absoluten Senkungsbeträge. Dadurch wurde sowohl die Geometrie der über den abgebauten Bereichen liegenden Wasserläufe verändert, als auch die Mächtigkeit der über dem Grundwasser liegenden Schicht reduziert. Dies hatte zur Folge, dass sich entlang des Vorfluters ein See - der „Schwarzer Bach See“ - innerhalb der untersuchten Absenkungsmulde bildete.

In dieser Arbeit werden die dynamischen Veränderungen in den hydrologischen und hydrogeologischen Systemen untersucht, mit dem Ziel der Entwicklung eines Verfahrens zur Überwachung und zeitlichen Vorhersage der Auswirkungen von berginduzierten Senkungen. Die im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit durchgeführten Verfahrensschritte sind die Entwicklung eines hydraulischen numerischen Modells und dessen Kopplung mit einem eigens dafür angepassten Grundwassermodell, in dem die physikalischen Fließprozesse in beiden Systemen bewertet werden.

Für den untersuchten Zeitraum wurde anhand einer Reihe von fünf Simulationen mit einem Zeitabstand von zwei Jahren ein transientes hydraulisches Modell entwickelt. Die Ergebnisse aus dem hydraulischen Modell zeigten die zeitliche Entwicklung des entstandenen Sees und ermöglichten eine sichere Vorhersage der Uferlinie.

Um die hydrogeologischen Prozesse des Systems „Senkung – Oberflächenwasser – Grundwasser“ vollständig zu verbinden, wurde für zwei zeitlich getrennte Simulationen das hydraulische Modell mit dem jeweiligen Grundwassermodell

gekoppelt, welches die bergbaubedingten Senkungen als Haupteinwirkungsfaktor auf die darunterliegende Grundwasserschicht in Verbindung mit dem Oberflächenwasser berücksichtigt. Demzufolge wurden die Senkungsdaten der betrachteten Zeitperioden mit in das Grundwassermodell eingebunden.

Aufgrund der Senkungserscheinungen kam es zu einer signifikanten Reduzierung der Flurabstände, d.h. der Abstände zwischen der Grundwasseroberfläche und der Geländeoberfläche, was zur Bildung des Sees führte. Die weiteranhaltenden Senkungen führten letztendlich zur Ausdehnung des Sees bis zu seiner jetzigen Form. Die Bodensenkungen und die Entstehung des Sees beeinflussten die Grundwasserfließgeschwindigkeit und die -fließrichtung und führten zu einer neuen Verteilung der Wasserscheiden. Der Grundwasseraustritt stieg kontinuierlich an bis zur vollständigen Aufnahme des Grundwasserkörpers in das existierende Oberflächenwassersystem zum fortgeschrittenen Zeitpunkt der Untersuchung.

Die modellierte nachbergbauliche Phase der Grundwasser- und Oberflächenwassersysteme zeigt, dass jedes Element des Grundwasserregimes extensiv durch die bergbauliche Tätigkeit im modellierten Vorflutersegment beeinflusst wurde. In Folge der Bodenbewegungen oberhalb der Abbaubereiche verschwand die Grenze zwischen den überlagernden alluvialen Sedimenten (Flussbett) und der Grundwasseroberfläche vollständig, so dass ein frei fließender Grundwasserstrom im Vorfluter entstand, der folglich den „Schwarzer Bach See“ als ein neues Landschaftselement hervorbrachte.

Acknowledgement

It is my great pleasure to express sincere gratitude and whole-hearted thanks to my supervisors Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Busch and Prof. Dr. Wolfgang van Berk for their constant and invaluable guidance, assistance, suggestions and tutelage that they have shown throughout the entire research work. The cooperation and support I have received from Prof. Busch go beyond the academic affairs helping me in all details to develop myself for future life. Offering gratitude in texts is not sufficient enough to express my inner regards towards both of my supervisors.

I would also like to thank delta-h Ingenieurgesellschaft personnel, Prof. Dr.-Ing. Christoph König, Dr. Otto Rüber, and M. Sc. Paul Meyer for their help, technical support, scientific suggestions, and time that have given to accomplish the research. Thanks are due to RAG Deutsche Steinkohle for providing access to data used in the presented research work. Thanks are extended to Dr. Jürg Trösch and Roser Mane, personnel of TK Consult AG, Zürich, for their help.

My thanks and gratitude go to Deutscher Akademischer Austausch Dienst, Bonn, for giving me the opportunity to conduct my Ph.D research in Germany.

I would also like to extend my thanks to all colleagues, all family members especially my parents, friends, and all those who supported me during my Ph.D research.

Clausthal-Zellerfeld, August 2010

Ashtar Bashar

Table of Contents

1. Introduction	1
1.1 General	1
1.2 Problem definition	3
1.3 Related literature and research	5
1.4 Purpose and objectives	6
1.5 Dissertation outline.....	7
2. Underground Mining and its Impact on Water Resources.....	9
2.1 Underground Coal Mining	9
2.1.1 Longwall mining	9
2.2 Mining Induced Subsidence- Its Mechanism	13
2.3 Impacts of Mining Induced Subsidence on Water Resources	19
2.3.1 Impact on surface water	20
2.3.2 Impact on groundwater	23
3. Characteristics of the Study Area	29
3.1 Geography	29
3.2 Geology.....	29
3.3 Hydrology and hydrogeology.....	32
4. Methodology	35
5. Data Processing and Tool Development for Geospatial Representation of Channel Geometry	43
5.1 Dataset Used in the Study.....	43
5.2 Scope	43
5.3 Geometric Data	44
5.4 Tool Development Using Object Oriented Programming (OOP) and GIS	46
5.4.1 Pre-processing for Tool Development	46

5.4.2 Channel Geometry Tool.....	48
5.4.2.1 Generation of Cross-Sections.....	49
5.4.2.2 Add Cross-Sections.....	52
5.4.2.3 Extraction of Channel Geometry Data.....	53
5.4.2.4 Baseflow Calculation.....	56
5.4.2.5 Cross-Sections Automatic Editing.....	58
5.5 Generation of Cross-Sections Using the Developed Tool.....	60
6. Modelling of Hydrologic and Hydrogeologic Systems.....	63
6.1 Modelling of Hydraulic System.....	63
6.1.1 FLORIS Software Package.....	63
6.1.2 Hydraulic Model Set up.....	65
6.1.2.1 Geometry of the channel.....	65
6.1.2.2 Boundary condition.....	67
6.1.2.3 Initial condition.....	69
6.1.2.4 Timesteps.....	69
6.1.2.5 Model calibration.....	69
6.1.3 Results.....	69
6.1.3.1 Scenario 2001.....	70
6.1.3.2 Scenario 2003.....	71
6.1.3.3 Scenario 2005.....	74
6.1.3.4 Scenario 2007.....	77
6.1.3.5 Scenario 2009.....	80
6.1.4 Discussion.....	84
6.1.5 Conclusion.....	90
6.2 Groundwater Modelling.....	91
6.2.1 SPRING Software Package.....	91
6.2.2 Coupling of Hydraulic Model to the Groundwater Model.....	93
6.2.3 Groundwater Model Adjustment.....	94
6.2.3.1 Channel geometry and surface elevation data.....	94
6.2.3.2 Lake's shorelines.....	97
6.2.3.3 Receiving watercourse levels.....	98
6.2.3.4 Leakage coefficient at watercourse.....	100
6.2.4 Results.....	102

6.2.4.1 Kirchheller Heide Groundwater Model (Scenario 2001).....	102
6.2.4.2 Scenario 2005.....	107
6.2.4.3 Scenario 2009.....	111
6.2.5 Discussion	115
6.2.6 Conclusion	119
7. Summary and Conclusion	121
8. References	127