

Anwendervortrag

14. ESRI European User Conference, 15.-17.11.99 (München)

Thema:

Kohle und Wasser - Konzept und Methodik zur GIS-gestützten Prognose, Analyse und Überwachung des Einflusses des untertägigen Steinkohleabbaus auf Oberflächengewässer

Autoren:

Sylvia Hentrich,
Deutsche Steinkohle AG - Dienstleistungsbereich Geoinformationsbearbeitung
Dipl.-Ing. Peter Vosen,
Deutsche Steinkohle AG - Dienstleistungsbereich Geoinformationsbearbeitung

Zusammenfassung

Die Gewinnung von Steinkohle aus Teufen von 600 m bis 1500 m durch die Deutsche Steinkohle AG (DSK) führt zu Auswirkungen an der Tagesoberfläche, die - u.a. im Rahmen von Genehmigungsverfahren der zuständigen Behörden, insbesondere des Rahmenbetriebsplanverfahrens (RBP) mit integrierter Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) - prognostiziert, analysiert und überwacht werden müssen. Von besonderem ökologischen und hydrologischen Interesse sind dabei die Auswirkungen auf die Oberflächengewässer. Als Grundlagen für diese Betrachtungen dienen ein hochauflösendes Digitales Geländemodell (DGM) mit integriertem Gewässernetz sowie eine Vielzahl von ökologischen, hydrologischen und betrieblichen GIS-Daten. Dieser Vortrag will einerseits das Konzept der DSK zur Bearbeitung des Schutzgutes *Wasser* im Rahmen der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) von der Datenerhebung über die Analyse bis hin zur Präsentation der Ergebnisse aufzeigen, andererseits die dabei eingesetzten GIS-Methoden - insbesondere für die Erarbeitung des „vierdimensionalen“ Gewässernetzes mit Hilfe von TIN und dynamischer Segmentierung sowie dessen Analyse/Präsentation mittels ArcPlot und ArcView - beschreiben.

1 Einleitung

Bei der DSK werden seit 1990 im übertägigen Bereich das GIS ArcInfo (z.Z. mehr als 30 Installationen für Unix bzw. Windows NT) sowie zunehmend das Desktop-GIS ArcView (z.Z. über 40 Installationen) eingesetzt.

Für den GIS-Einsatz gibt es bei der DSK ein übergreifendes Konzept (DG-Konzept), das innerhalb der DSK einen Dienstleistungsbereich Geoinformationsbearbeitung (DG) vorsieht, an dem die Fachkompetenz und das Wissen über Geodaten gebündelt werden. Dieser Dienstleistungsbereich mit Sitz in Bottrop wurde 1996 durch Zusammenlegung verschiedener Bereiche gegründet. DSK-DG beschäftigt ca. 40 Mitarbeiter und gliedert sich in die Bereiche

- Photogrammetrie
- GIS-Bearbeitung
- Geodaten-Zentralbank
- Consulting
- Support/Services
- Plotzentrum.

Durch die Bündelung der GIS-Aktivitäten an einer Stelle wird gewährleistet, dass benötigte Geodaten zentral, einheitlich und einmalig beschafft bzw. erfaßt und aufbereitet werden und dass die Geodatenbestände ständig aktuell, konsistent und vollständig sind. Das DG-Konzept sieht den Aufbau einer unternehmensweiten Geodaten-Zentralbank vor, um die Verfügbarkeit gleicher Geodaten für alle interessierten Stellen im Konzern sicherzustellen. Diese Geodaten-Zentralbank wird auf der Grundlage des ArcInfo-Moduls SDE und der relationalen Datenbank Oracle entwickelt. Der Zugriff auf die gespeicherten Daten soll zukünftig konzernweit online über Internet/Intranet erfolgen.

Außerdem bietet die Konzentration von Know-How und hochwertiger technischer Ausrüstung - beginnend bei hochmodernen analytischen und digitalen photogrammetrischen Erfassungsgeräten über ein modernes Unix-/NT-Netzwerk mit High-End-GIS-Arbeitsplätzen bis hin zum RIP-gesteuerten Plotzentrum - erst die Möglichkeit, große und komplexe Projekte, hauptsächlich im Bereich der Umweltplanung erfolgreich durchzuführen.

2 Aufgabenstellung - Bergbau und Umwelt

Der Abbau von Steinkohle im Ruhrgebiet aus Teufen zwischen 600 m und 1500 m ist untrennbar mit einer Beeinflussung der Umwelt verbunden. Bei der untertägigen Gewinnung der Steinkohle entsteht ein Hohlraum, der durch die überlagernden Gebirgsschichten innerhalb eines Zeitraumes von meist weniger als 1 bis 2 Jahren zum größten Teil wieder gefüllt wird. Diese Bewegung des Gebirges setzt sich bis zur Tagesoberfläche fort und führt dort zu einer Senkungsmulde über dem Gewinnungsbereich (Abb. 1).

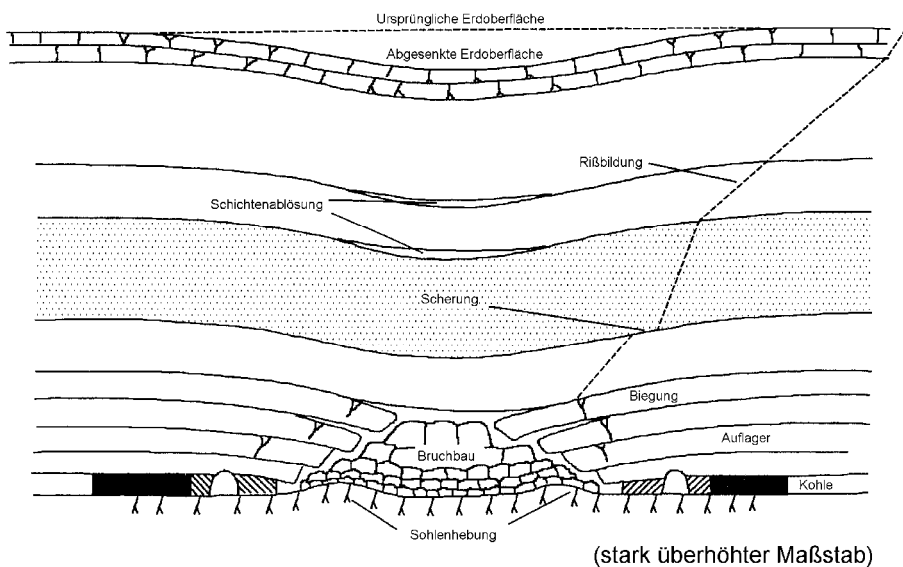


Abb. 1: Auswirkungen des untertägigen Steinkohleabbaus auf die Tagesoberfläche (schematische Darstellung)

Die auftretenden Bodenbewegungen (Senkungen und Verschiebungen) beeinflussen neben den anthropogenen Landschaftsbestandteilen (z.B. Gebäude, Versorgungsleitungen, Verkehrswege) auch die natürliche Umwelt - insbesondere die Grundwassersituation (Veränderung der Flurabstände) und den Oberflächenabfluß.

Die DSK ist verpflichtet, diese Auswirkungen auf die Tagesoberfläche für ihren gesamten Interessenbereich (ca. 1500 km²) zu überwachen und zu analysieren. Alle Vorhaben zum Abbau von Steinkohle unterliegen dabei umfangreichen Genehmigungs- und Überwachungsverfahren. Insbesondere ist das Rahmenbetriebsplanverfahren mit integrierter Umweltverträglichkeitsprüfung zur Genehmigung des zukünftigen Steinkohleabbaus bis zum Jahre 2020 zu nennen.

3 Rahmenbetriebsplan (RBP)

Der Rahmenbetriebsplan (RBP) ist Teil des durch das *Bundesberggesetz (BBergG)* vom August 1990 vorgeschriebenen Betriebsplanverfahrens als Instrumentarium der öffentlich-rechtlichen Aufsicht und Zulassung von bergbaulichen Betrieben. Rahmenbetriebspläne werden für einen längeren Zeitraum - in der Regel 20 Jahre - aufgestellt und enthalten allgemeine Angaben über das beabsichtigte Abbauvorhaben. Zur Zeit werden für 9 Bergwerke im Ruhrgebiet entsprechende Rahmenbetriebsplan-Anträge für 11 sich z.T. überlappende Untersuchungsräume mit einer Gesamtfläche von ca. 1000 km² erarbeitet (Abb.2).

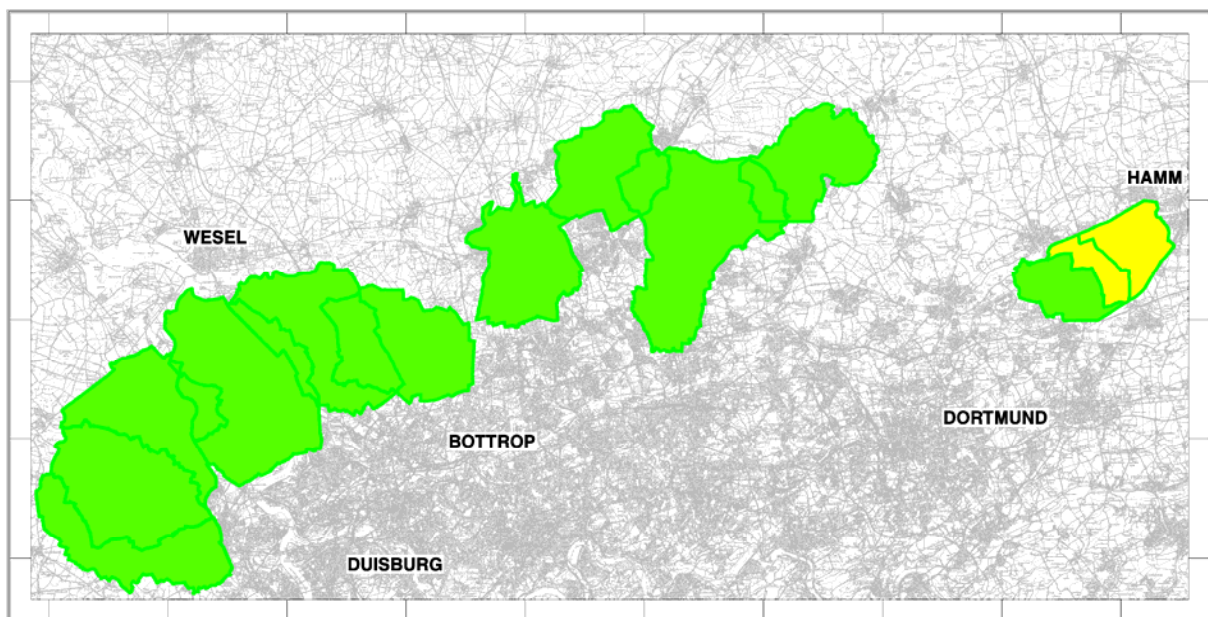


Abb. 2: Untersuchungsräume der Umweltverträglichkeitsstudien im Rahmen der Rahmenbetriebsplanverfahren der DSK (in gelb ist der Untersuchungsraum des Bergwerkes Ost - Betriebsbereich Heinrich Robert dargestellt, dessen Gewässernetz hier beispielhaft betrachtet wird)

Die mit dem untertägigen Abbau verbundenen Probleme - hauptsächlich durch das Auftreten von Senkungen - stellen erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt dar. Daher unterliegen diese bergbaulichen Vorhaben einer Umweltverträglichkeitsprüfung nach § 3 des *Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)* vom Februar 1990, wenn sie entsprechenden Kriterien hinsichtlich Flächenbedarf oder Senkungen laut *Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau)* vom Juli 1990 entsprechen.

4 Umweltverträglichkeitsstudie (UVS)

Die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) stellt im Rahmen der UVP das gutachterliche Untersuchungsergebnis dar. Angesichts der Vielzahl der durchzuführenden UVSen wurde von der DSK bereits 1995 in Zusammenarbeit mit ökologischen Fachgutachtern ein *Musteranforderungsprofil für Umweltverträglichkeitsstudien Abbau im Steinkohlenbergbau* erarbeitet. Dieses Musteranforderungsprofil enthält Vorgaben für den grundlegenden Arbeitsablauf, eine Mustergliederung und ein detailliertes Leistungsbild. Zudem gibt es schutzgutspezifische Arbeitshilfen für die zu betrachtenden Schutzgüter Mensch, Tiere, Pflanzen und ihre Lebensräume, Boden, Wasser, Klima/Luft, Landschaft sowie Kultur- und Sachgüter in Form von methodischen Vorgaben zur

- Ableitung von Umweltqualitätszielen aus gesetzlichen, planerischen und sonstigen Vorgaben
- Beschreibung und Bewertung des Ist-Zustandes der Umwelt und ihrer Bestandteile (Bestandsanalyse und Bestandsbewertung)
- Prognose der Umwelt und ihrer Bestandteile ohne das geplante Vorhaben (Status-Quo-Prognose)
- Empfindlichkeitsanalyse der betroffenen Schutzgüter gegenüber den bergbaubedingten Einwirkungen
- Auswirkungsprognose mit Beschreibung und Bewertung der zu erwartenden erheblichen Auswirkungen des Vorhabens (Risiko- und Konfliktanalyse)
- Erarbeitung möglicher Verminderungs- und Vermeidungsmaßnahmen.

5 GIS-Einsatz in der Umweltplanung - Grob-Konzept (EDV-Konzept I)

Basierend auf diesen Vorgaben des Musteranforderungsprofils wurde im Rahmen des EDV-Konzeptes I *Konzept zur Grundlagenermittlung, Bewertung und EDV-Bearbeitung zukünftiger Haldenplanungen der RBAG* 1995 ein Grobkonzept für die schutzgutbezogenen GIS-Bearbeitungsschritte für die UVS Abbau entwickelt. Für jedes Schutzgut wurde der Bearbeitungsablauf ausgehend von der Übernahme vorhandener Daten über die fachliche Bearbeitung durch den Gutachter, die Erzeugung neuer Ausgangsdaten (Digitalisierung, Attributierung), die Analyse der Daten (Verschneidung von Geometrien, Aggregation, Selektion, etc.) bis hin zu Ergebnisdaten und Karten tabellarisch skizziert.

6 GIS-Einsatz in der Umweltplanung - Konzept zur standardisierten Felderhebung (EDV-Konzept II)

Um das Ziel eines standardisierten GIS-Einsatzes für alle UVS-Vorhaben der DSK zu erreichen, muß die standardisierte Erfassung der von den einzelnen Fachgutachtern erhobenen Daten aus Felderhebungen als Grundlage der GIS-Datenbasis sichergestellt werden.

Im Rahmen des EDV-Konzeptes II *Konzept zur standardisierten EDV-Bearbeitung zukünftiger UVSen der RBAG* wurde hierfür ein hierarchisch aufgebauter universeller Kartierschlüssel für die simultane Bestandskartierung von Vegetation, Landschaftsstrukturen, Klimatopen, Siedlungsstrukturen, Freizeit und Erholung sowie Kultur- und Sachgütern entwickelt.

Darüberhinaus wurden schutzgutspezifische Bearbeitungsblätter für die Erfassung von Amphibien, Avifauna, Biotopen, Fließgewässern, Libellen, Quellen, Stillgewässern und Fischen entwickelt und EDV-technisch als Datenbank-Applikation (DEEP - Digitale Erfassung von Erhebungs-Protokollen) unter MS Access umgesetzt. Diese Applikation wird allen

Fachgutachtern zur Eingabe ihrer Felderhebungsdaten (Attribute) von der DSK zur Verfügung gestellt.

Die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1 : 5000 (DGK 5) wird als geometrische Grundlage für alle Felderhebungen vorgeschrieben. Diese Karten stehen bei DSK in Form von georeferenzierten Rasterdaten (TIFF) des Landesvermessungsamtes NRW bzw. der zuständigen Katasterämter zur Verfügung und werden als Daten bzw. Karten (Plots) ebenfalls jedem Fachgutachter zur Verfügung gestellt, so dass sowohl die Georeferenzierung als auch der Bearbeitungsstand der Karten für alle am UVS-Verfahren Beteiligten identisch sind. Somit ist gewährleistet, dass alle erhobenen Geländedaten sowohl geometrisch als auch seitens der Attributstruktur und der Attributausprägungen (Codierungen) einheitlich aufgebaut sind.

Diese Daten bilden zusammen mit behördlichen Daten und weiteren DSK-eigenen Daten die UVS-Datenbasis.

7 GIS-Einsatz in der Umweltplanung - Fein-Konzept (EDV-Konzept III)

Im Rahmen des EDV-Konzeptes III *Konzept zur Konkretisierung der Zusammenarbeit zwischen Gutachter und EDV-Bearbeiter bei der EDV-Bearbeitung zukünftiger UVSen der RBAG* werden für alle Datenbestände der UVS-Datenbasis und alle daraus während der Bearbeitung abzuleitenden Daten Konventionen über Namensgebung, Datentypen, Attributstrukturen und Attributausprägungen festgelegt.

Weiterhin enthält das EDV-Konzept III eine Auflistung aller bei DSK entwickelter Unix-Shell-Scripts und ArcInfo-AML-Programme, die für die einzelnen Bearbeitungsschritte benötigt werden. Für jedes Programm werden der Name, der Verwendungszweck, die Art des Programms sowie die damit erzeugten Ergebnisse (Daten, Karten) beschrieben.

Diese Daten- und Programmstrukturen sind zunächst für alle UVS-Verfahren bindend. Im Gegensatz zur Felderhebung, die für alle Naturräume nach nahezu identischen Vorgaben durchgeführt werden kann, gibt es im weiteren Ablauf der UVSen raumspezifische Besonderheiten bzw. Gewichtungen und Unterschiede in den zur Verfügung stehenden Grundlagenkarten/-daten, die sich auch in der GIS-Bearbeitung niederschlagen. D.h., trotz aller Standardisierungsbemühungen kann es für jede UVS zu Ergänzungen bzw. Variationen der im EDV-Konzept III vorgegebenen Strukturen kommen. Diese Abweichungen müssen jedoch in jedem Einzelfall mit DSK-DG abgestimmt werden, um eine möglichst hohe Homogenität der UVS-Daten DSK-weit zu gewährleisten.

Wie die einzelnen nun detailliert beschriebenen Daten und Programme zusammenhängen und wie der konkrete Arbeitsablauf in der GIS-Bearbeitung ist, wird im Rahmen des EDV-Konzeptes III an Hand von Ablaufschemata schutzgutbezogen dargestellt.

Am Beginn jeder Bearbeitung stehen die Eingangsdaten. Aus diesen Daten werden durch GIS-Arbeitsschritte bzw. inhaltliche Arbeitsschritte sukzessiv neue Daten oder Darstellungen erzeugt, bis nach Durchführung aller beschriebener Arbeitsschritte das Endprodukt (in der Regel die druckfertige thematische Karte) entsteht. Dabei ergibt sich eine starke Verzahnung zwischen inhaltlicher Bearbeitung und GIS-Bearbeitung, d.h. das GIS wird von Anfang an arbeitsbegleitend eingesetzt und nicht - wie dies früher die Regel war - nach Abschluß der inhaltlichen Bearbeitung als "Malprogramm" zur Umsetzung der analogen Ergebnisse in digitale Karten missbraucht.

Für die Gestaltung der im Rahmen der UVS zu erstellenden Karten enthält das EDV-Konzept III ebenfalls standardisierte Vorgaben. Diese Layout-Vorgaben orientieren sich an den Erfahrungen der bereits durchgeführten UVS Kirchheller Heide / Hünxer Wald für das Bergwerk Prosper-Haniel und beziehen sich auf

- die zu verwendenden Kartenmaßstäbe
- den Kartenblattschnitt
- den Aufbau des Kartenrahmens
- den Aufbau des Kartentitels
- den Aufbau der Kartenlegenden
- die Farbgebung und Symbolik der Karteninhalte
- die Aufteilung der Karteninhalte auf die verschiedenen thematischen Karten.

Bei der Kartenerstellung für weitere UVS-Verfahren kann es hier ebenfalls aufgrund naturräumlicher Besonderheiten Abweichungen bzw. Ergänzungen zum EDV-Konzept III geben, die im Einzelfall mit DSK-DG abzustimmen sind.

8 Die Bedeutung des Schutzgutes Wasser in der Umweltverträglichkeitsprüfung

Das Schutzgut Wasser spielt mit den Teilbereichen *oberflächennahes Grundwasser*, *Fließgewässer* und *Stillgewässer* - neben dem Schutzgut Tiere, Pflanzen und ihre Lebensräume - eine zentrale Rolle bei den Untersuchungen der Umweltverträglichkeit des untertägigen Steinkohleabbaus. Deshalb wird neben der UVS mit ihren ökologischen Untersuchungen (vgl. Kap. 4) ein gesondertes wasserwirtschaftlich-ökologisches Gutachten erstellt. Dabei erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der Ausgangssituation in den Bereichen Hydrologie (Niederschlags- und Abflussverhältnisse), Oberflächengewässer (insb. Gewässerbestand, Ausbauzustand, Hochwasserschutz) und Hydrogeologie (Grundwasserverhältnisse). Grundlagen hierfür sind u.a. ein Digitales Geländemodell (DGM, vgl. Kap. 10) mit integriertem dreidimensionalen Gewässernetz (vgl. Kap. 13) und ein Grundwasserströmungsmodell (GWM). Aufbauend auf der ermittelten Ausgangssituation werden in der Auswirkungsprognose die Veränderungen an den Fließ- und Stillgewässern (z.B. Gefälleveränderung, Gefälleumkehr, Ausuferung) sowie an den Grundwasserverhältnissen (z.B. Flurabstandsveränderungen, Vernässung) untersucht, die infolge des Abbaus - ohne ggf. zu treffende Regulierungsmaßnahmen - auftreten würden. Im anschließenden Maßnahmenkonzept werden unter Berücksichtigung bereits bestehender wasserwirtschaftlicher und ökologischer Zielsetzungen für die vom Abbau beeinflussten Gewässer und terrestrischen Bereiche Regulierungsmaßnahmen (z.B. Sohlvertiefung, Bachverlegung) erarbeitet und mit Hilfe von Simulationsrechnungen auf ihre Wirksamkeit überprüft. Aus dieser Maßnahmenuntersuchung ergeben sich Maßnahmenvorschläge bzw. Maßnahmenvarianten, die im Rahmen eines Monitoringprogramms hinsichtlich Umfang und Beginn weiter konkretisiert werden müssen.

Zwischen den drei Teilbereichen *oberflächennahes Grundwasser*, *Fließgewässer* und *Stillgewässer* gibt es enge Verknüpfungen und Abhängigkeiten. Trotzdem beschränkt sich dieser Vortrag im weiteren Verlauf auf die Bearbeitung des Teilbereiches Fließgewässer - unter besonderer Beachtung der dabei angewandten GIS-Methoden.

9 Vorläufiges Gewässernetz (zweidimensional)

Ausgangspunkt der Fließgewässerbearbeitung ist ein zweidimensionales Fließgewässernetz (digitalisiertes, generalisiertes Linien-Cover), das durch Abstimmung aller Beteiligten (DSK, Gutachter, Wasserverbände, Behörden) auf Grundlage von amtlichen topographischen Karten (i.d.R. DGK 5), Luftbildern, sonstigen Unterlagen und Daten (z.B. aus Gewässervermessungen) sowie Begehungen festgelegt wird. Der Verlauf, die Fließrichtung und die Bezeichnung (Name und Kürzel) der einzelnen Gewässer werden eindeutig bestimmt.

Dieses Gewässernetz (Abb. 3) deckt räumlich zumindest das gesamte UVS-Untersuchungsgebiet ab, darüber hinaus kann es notwendige Ergänzungen bis zum Rand des hydrologischen Untersuchungsraumes geben, die für die Modellierung des GWM notwendig sind.

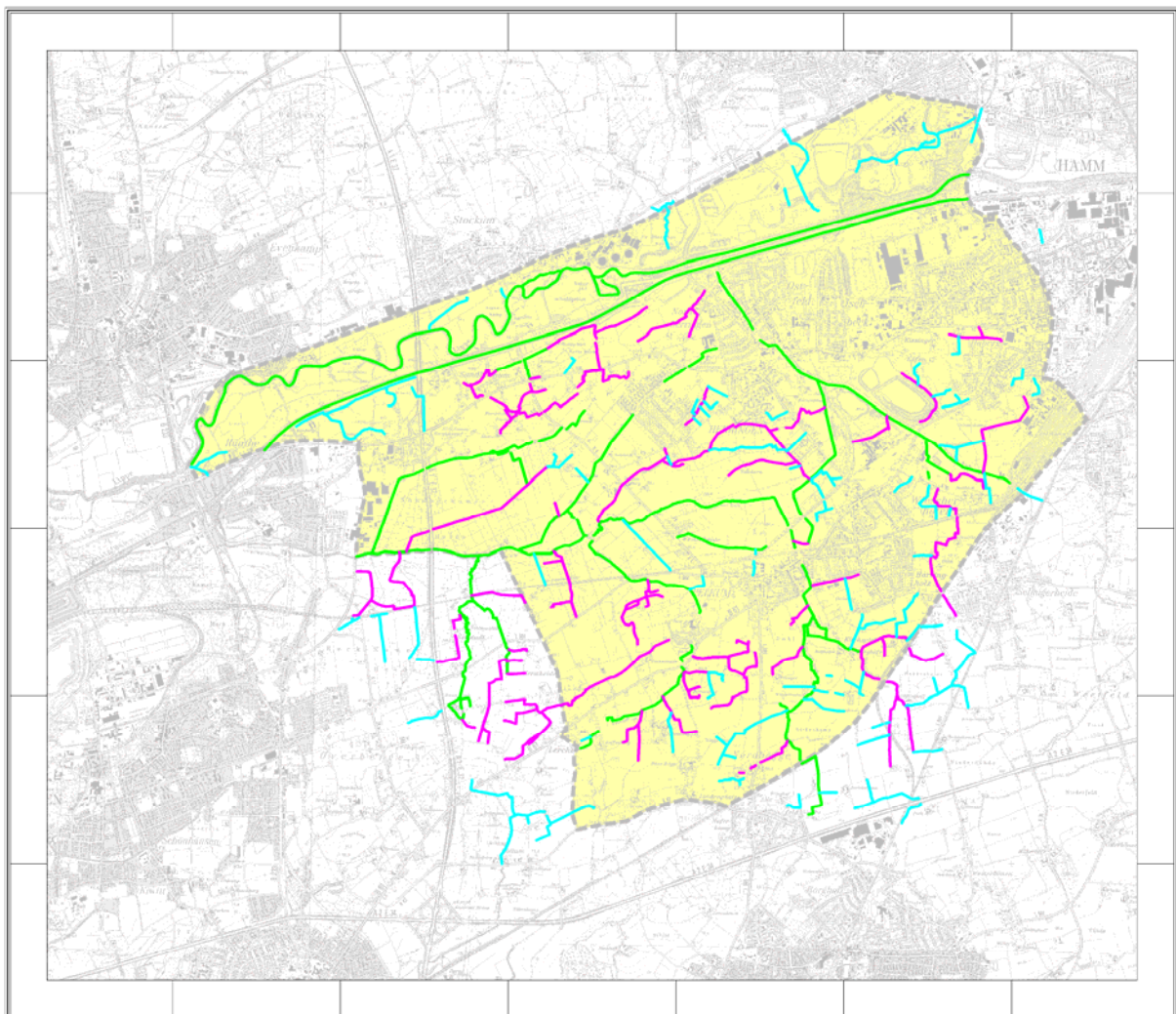


Abb. 3: vorläufiges zweidimensionales Gewässernetz
(in gelb dargestellt ist das UVS-Untersuchungsgebiet, die Gewässer sind eingeteilt in Hauptgewässer (grün),
Nebengewässer (magenta) und sonstige Gewässer (cyan))

Das Gewässernetz wird in folgende Kategorien eingeteilt:

- Hauptgewässer
- Nebengewässer
- Sonstige Gewässer

Haupt- und Nebengewässer werden im weiteren Verlauf in das DGM eingebaut (vgl. Kap. 11) sowie ökologisch und hydrologisch bearbeitet, während die sonstigen Gewässer nur zur Komplettierung der Gewässernetzdarstellung in den entsprechenden thematischen Karten dienen. Dazu werden die Gewässer dieser Kategorie auf Grundlage der DGK 5 in ihrem exakten Verlauf digitalisiert. Im Laufe der weiteren Bearbeitung wird sich dieses Gewässernetz trotz aller Abstimmungen und Vorplanungen noch verändern, z.B. durch eine neue Abgrenzung des Untersuchungsraumes der UVS aufgrund einer geänderten Abbauplanung. Wie stark diese Veränderungen sein können, zeigt ein Vergleich der Abbildungen 3 und 4.

Das DGM stellt eine wesentliche Grundlage für die Untersuchung des Schutzgutes *Wasser* dar (Abb. 4).

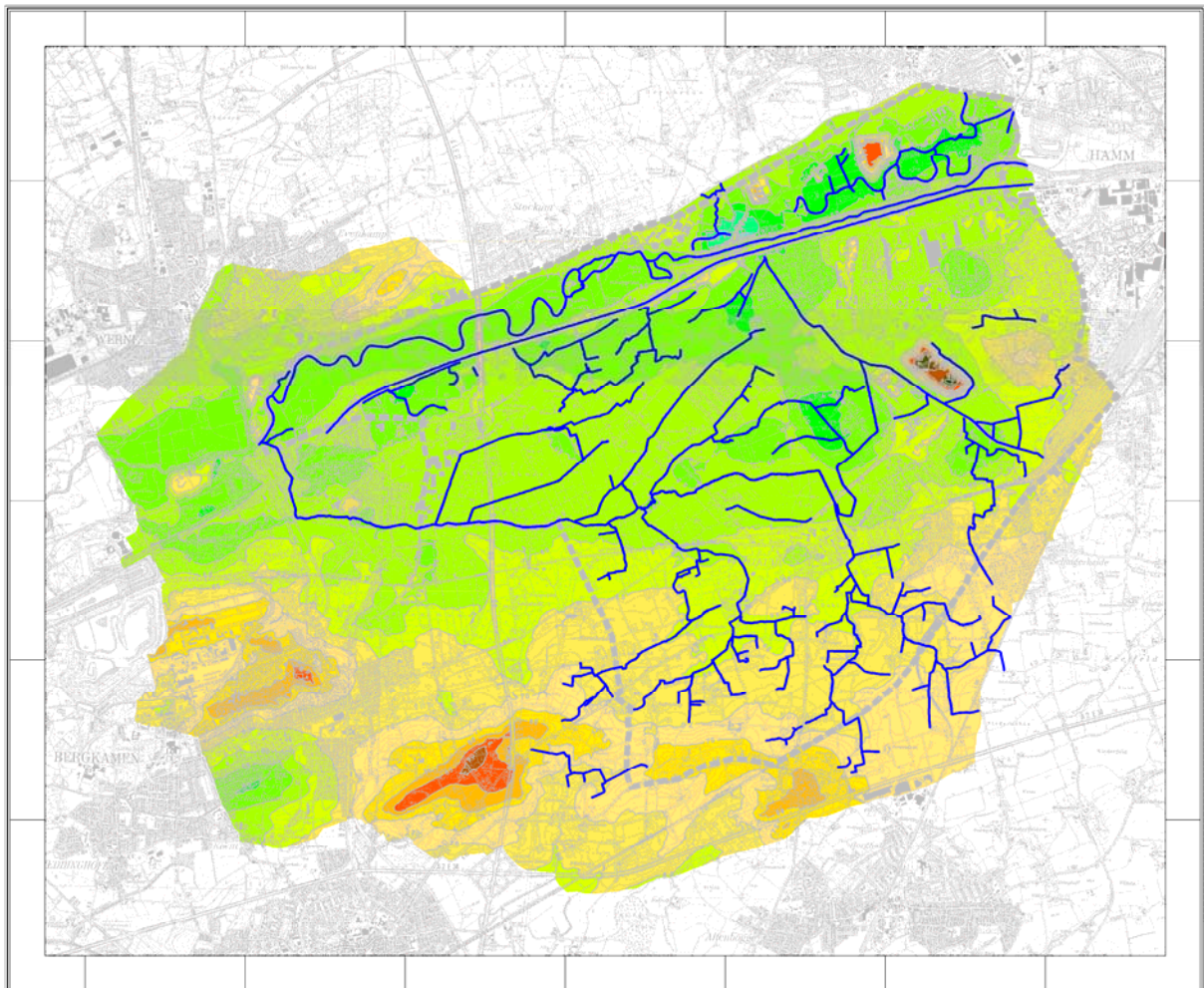


Abb. 4: Höhengschichten aus DGM 2. Stufe und endgültiges zweidimensionales Gewässernetz (DGM-Höhenschichten von grün (ca. 50 m NN) über gelb nach rot (ca. 100 m NN))

10 Digitales Geländemodell (DGM) 1. Stufe

Zur Erstellung des DGM kommt derzeit aufgrund der besonderen Anforderungen an Aktualität, Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit nur die weitgehende Erfassung der Tagesoberfläche durch Methoden der Aerophotogrammetrie in Frage. Die zu erfassenden Flächen können Größen von über 100 km² Ausdehnung erreichen und werden meist im Bildmaßstab 1: 6000 befliegen.

Die bislang ausschließlich mit Mitteln der analytischen Photogrammetrie (Auswertegeräte und Software von ZEISS) durchgeführten Auswertungen werden neuerdings in Teilprozessen durch Methoden der digitalen Photogrammetrie ergänzt oder abgelöst (z.B. automatische Aerotriangulation).

Zur DGM-Erstellung in UVS-Projekten wird eine zweistufige Vorgehensweise gewählt. Zunächst wird ein regelmäßiges Punktraster (hier: 50m Maschenweite, in Verdichtungsbereichen 25m Maschenweite) gemessen und mit TIN ein Übersichts-DGM (DGM 1. Stufe) abgeleitet, das den Anwendern (Gutachter, Wasserverbände) innerhalb weniger Monate nach dem Bildflug zur Verfügung gestellt werden kann. Dieses DGM 1. Stufe wird insbesondere zur Eichung des aufzubauenden Grundwassermodells verwendet.

11 Digitales Geländemodell (DGM) 2. Stufe

Für die weitergehende Bearbeitung im Rahmen der UVS (Ableitung von Flurabständen, Erfassung der Veränderungen an Vorflutern usw.) ist es aber erforderlich, in definierten Bereichen die Morphologie der Geländeoberfläche kleinräumig detailliert zu erfassen. Dazu müssen in einem zweiten Schritt Geländekanten (u.a. Gewässersohlen, hochwasserrelevante Böschungsoberkanten der Gewässer, Deiche, Verkehrsstrassen) linienhaft gemessen werden. Zur vollständigen Erfassung aller benötigten Informationen der Tagesoberfläche werden zusätzlich sowohl die Ergebnisse terrestrischer Vermessungen, als auch analoge Kartengrundlagen in den Datenbestand integriert.

Insbesondere die Hauptgewässer werden durch eine terrestrische Tachymeteraufnahme in Form von koordinierten Querprofilen lage- und höhenmäßig erfaßt. Der Abstand der aufzunehmenden Querprofile beträgt ca. 150 - 250 m. Außerdem werden an Sonderbauwerken (z.B. Brücke, Wehr, Durchlass) oder bei signifikanten Querschnittsänderungen (z.B. Zusammenfluß mit Nebenvorflutern) zusätzliche Querprofile gemessen. Jedes Querprofil enthält dabei u.a. Informationen zur Gewässersohle (Gewässerachse) und zu den hochwasserrelevanten Böschungskanten. Zusätzlich werden entlang der Hauptgewässer punktförmige und linienhafte Besonderheiten (z.B. Verrohrung, Absturzbauwerk, Wehr) lage- und höhenmäßig aufgenommen.

Die digitalen Ergebnisse der terrestrischen Vermessung werden - evtl. nach einer erforderlichen Senkungsbereinigung (vgl. Kap. 14) - in den photogrammetrischen Datenbestand übernommen. Dort dienen sie als Stützpunkte für die photogrammetrische Messung der linienhaften Elemente *Gewässersohle* und *hochwasserrelevante Böschungskanten*. Dabei werden zwischen den Stützpunkten die Böschungskanten lage- und höhenmäßig, die Gewässersohle nur lagemäßig aus den Luftbildern ermittelt. Die Höhe der Gewässersohle wird durch lineare Interpolation der terrestrischen Höhen der benachbarten Stützpunkte errechnet.

Um den Aufwand für die terrestrische Vermessung zu minimieren, wird an den bedeutenden Nebengewässern nur die Gewässersohle in der Bachachse lage- und höhenmäßig terrestrisch aufgenommen. Diese Sohlpunkte sollen einen Abstand von max. 200 m haben und geben die Gefälleverhältnisse wieder. Daher sind bei plötzlichen Gefälleänderungen (z.B. an Abstürzen, Wehren) zusätzliche Sohlpunkte aufzunehmen. Die Lage der Sohle wird photogrammetrisch ermittelt, die Sohlhöhen werden durch lineare Interpolation der terrestrisch gemessenen

Sohlpunkte bestimmt. Der Verlauf der hochwasserrelevanten Böschungen wird vollständig photogrammetrisch ermittelt.

Da in nicht luft sichtbaren Bereichen (z.B. Wald) zwischen den terrestrischen Stützpunkten keine photogrammetrische Messung möglich ist, muß in diesen Bereichen entlang der Gewässer die terrestrische Messung um sogenannte Tripel ergänzt werden, d.h. um die Messung von Gewässersohle und hochwasserrelevanten Böschungskanten im Abstand von ca. 10 m. Bei mäandrierenden Gewässern ist der Abstand der Tripel so zu verdichten, dass der Gewässerverlauf mit seinen Windungen und Schleifen ausreichend wiedergegeben wird, bei einem eher geradlinigen Verlauf kann der Abstand der Tripel entsprechend größer ausfallen. Aus den entsprechenden Punkten der Querprofile und der Tripel werden dann durch geradliniges Verbinden die Geländekanten erzeugt.

Um den Aufwand für die terrestrische Vermessung weiter zu minimieren, werden bereits vorhandene analoge Unterlagen (Gewässerslängenschnitte mit entspr. Lageplan) oder auch vorhandene digitale Daten aus Gewässervermessungen aufbereitet und in den photogrammetrischen Datenbestand integriert.

Weniger bedeutende Nebengewässer werden rein photogrammetrisch gemessen. Dabei wird an Stelle der nicht meßbaren Gewässersohle die Gewässerachse mit Angabe der Wasserspiegelhöhe ermittelt. In nicht luft sichtbaren Bereichen wird die Lage aus der DGK 5 digitalisiert, die Höhen werden zwischen luft sichtbaren Punkten linear interpoliert.

Sonstige relevante Geländekanten (z.B. Deiche, Halden) sowie Aussparungsflächen (z.B. Stillgewässer) werden photogrammetrisch gemessen.

Durch zusätzliche Messelemente (Tripel) - z. T. abgeleitet aus den terrestrisch gemessenen Querprofilen und Tripeln, z.T. photogrammetrisch neu bestimmt - erfolgt für alle Haupt- und Nebengewässer eine Zuordnung zwischen Sohle und begleitenden Böschungskanten (Abb. 5). Dies ist u.a. notwendig zur lagerichtigen Darstellung aller drei Linien im Längenschnitt (vgl. Kap. 15).

Im Hinblick auf die spätere Verwendung der Daten erfolgt die Datenkodierung sehr differenziert. So sind beispielsweise für die Objektart *Graben* neunzehn verschiedene Objektkodierungen möglich. Es entsteht damit ein differenziertes DGM mit sehr hoher Qualität und Zuverlässigkeit. Allerdings handelt es sich auch um ein inhomogenes Modell mit Fokussierung auf die im Rahmen der weiteren Bearbeitung relevanten Gewässerbereiche. Trotz des bewußten Verzichts auf eine gleichmäßig feine Auflösung besteht das DGM für den ausgewählten UVS-Bereich aus über 600.000 TIN-Dreiecksflächen. Die Berechnung derart komplexer und großer TINs stellt aber mit ArcInfo normalerweise kein Problem mehr dar. Tests mit ArcView (3-D-Analyst) haben dagegen zu erheblichen Schwierigkeiten geführt und werden deshalb zur Zeit nicht weiterverfolgt.

12 Gewässernetz (zweidimensional)

Aus dem DGM 2. Stufe wird durch Extraktion aller relevanten Gewässerachsen und hochwasserrelevanten Böschungskanten ein zweidimensionales Liniencover erzeugt. Jedes Gewässer wird darin durch mindestens drei durchgehende Linien - in Ausnahmefällen (z.B. bei eingedeichten Gewässern mit Hochufnern) durch bis zu fünf Linien - repräsentiert (Abb. 5).

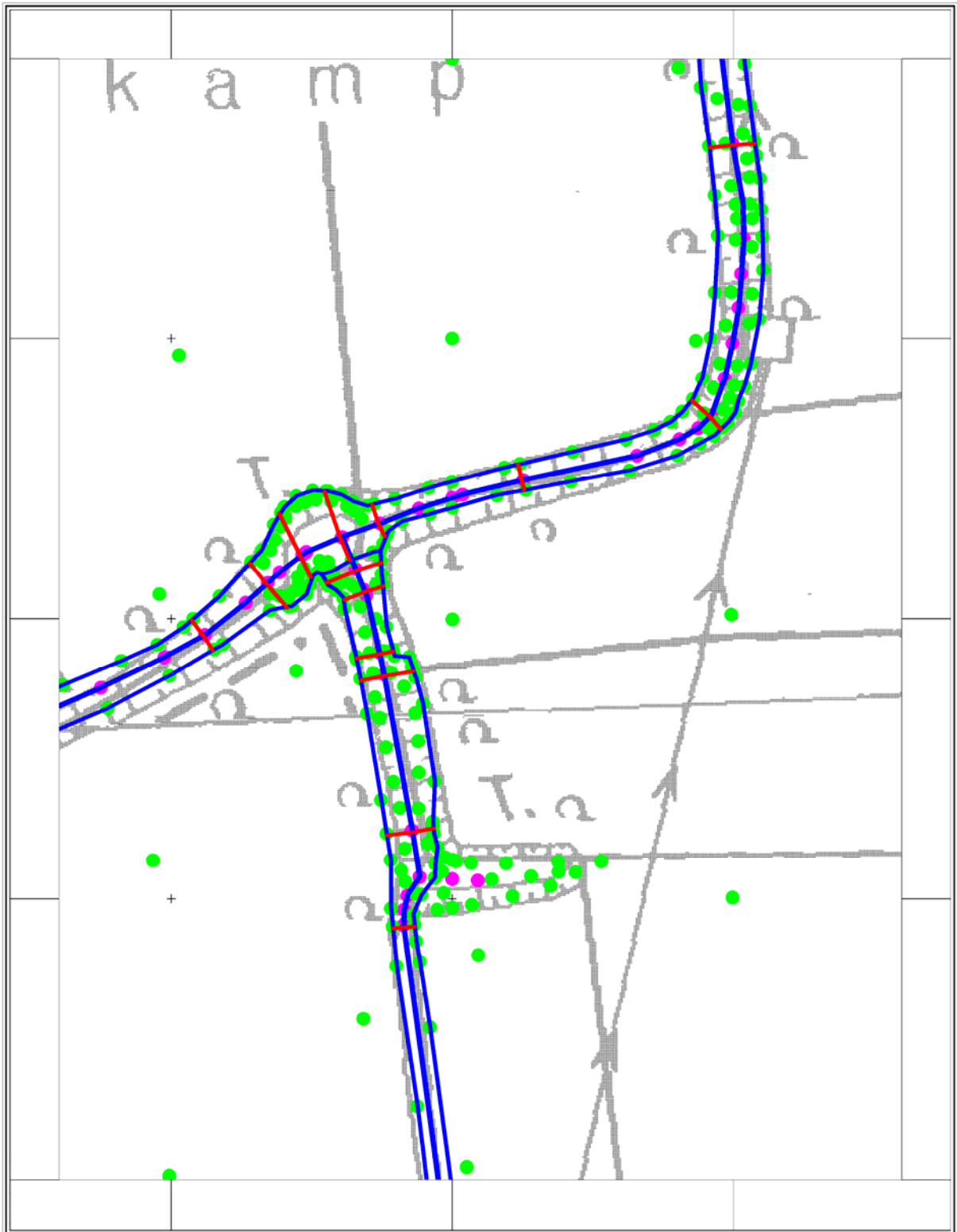


Abb. 5: Detailansicht der Konstruktionselemente für DGM und Gewässernetz
 (DGM-Raster- und Bruchkantenpunkte: grün, Sohlenpunkte: magenta, Gewässerachse: dickere blaue Linie,
 hochwasserrelevante Böschungsoberkanten: dünnere blaue Linien, Tripel: rote Linien)

Mit Hilfe der ArcInfo-Methoden der dynamischen Segmentierung erfolgt gewässerweise die Routenbildung der einzelnen Gewässerachsen und Böschungskanten in drei Routensystemen (Sohlen, in Fließrichtung gesehen linke Böschungskanten, in Fließrichtung gesehen rechte

Böschungskanten) mit Aufbau der entsprechenden Route Attribut Tabelle (RAT) und Section Tabelle (SEC).

Dabei entspricht die Stationierung in der Regel der wahren Länge des Gewässers und erfolgt - beginnend mit 0 Metern an der Mündung - entgegen der natürlichen Fließrichtung. Die Festlegung dieser natürlichen Fließrichtung ist teilweise schwierig, da viele Gewässer durch die in den letzten Jahrzehnten bereits eingetretenen Senkungen keine eindeutige Fließrichtung für das gesamte Gewässer mehr aufweisen.

In einigen Fällen - insbesondere bei den Hauptvorflutern - gibt es bereits bestehende Stationierungen der Gewässersohle (z.B. des zuständigen Wasserverbandes), die nicht der wahren Länge des Gewässers entsprechen müssen. Zur Abbildung dieser Zwangstationierung - bereitgestellt in Form eines Punktcovers mit Stationierungsvorgaben - bietet die dynamische Segmentierung umfangreiche Möglichkeiten, mit denen alle bisher vorgekommenen Situationen (z.B. Stauchung/Streckung für ein gesamtes Gewässer oder Gewässerabschnitte, Stationierung mit Sprungstellen) problemlos umgesetzt werden konnten.

Unter Zuhilfenahme der in Kap. 11 beschriebenen Zuordnungselemente (Tripel) werden alle Böschungskanten in Abhängigkeit von der zugehörigen Gewässersohle zwangstationiert.

Die Route Attribute Tabelle (RAT) der Gewässersohlen wird abschließend um eindeutige Gewässerkürzel und -namen ergänzt, die RATs der Böschungskanten und die Section Tabellen (SEC) werden nicht verändert oder ergänzt (Abb. 6).

RAT-Attribute	Wert (Beispiel)	SEC-Attribute	Wert (Beispiel)
Sohle#	39	Routelink#	39
Sohle-ID	55	Arclink#	229
Kuerzel	4.46	F-Meas	50.759
Name	Erlenbach	T-Meas	102.438
		F-Pos	0
		T-Pos	100
		Sohle#	12
		Sohle-ID	25

Abb. 6: Schematischer Aufbau RAT und SEC des zweidimensionalen Gewässernetzes

Diese Routensysteme stellen nun den zweidimensionalen Zustand des Gewässernetzes und der hochwasserrelevanten Böschungen zum Zeitpunkt des Bildfluges dar. Dabei entspricht der Verlauf exakt den Bruchkanten des DGMs. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Teilstücke der Gewässer, die unterirdisch verlaufen (z.B. im Bereich von Verrohrungen oder Durchlässen) nur Bestandteile des Gewässernetzes sind. Im DGM 2. Stufe findet sich an dieser Stelle das überlagernde Gelände.

Der Aufbau dieses zweidimensionalen Gewässernetzes ist relativ aufwendig, komplex und fehleranfällig. Daher erfordert die Bearbeitung sehr viel Know-how, Erfahrung und Feingefühl.

13 Gewässernetz (dreidimensional)

Die Erweiterung des zweidimensionalen Gewässernetzes um die dritte Dimension ist hingegen weniger aufwendig. Dafür werden lediglich für alle Routenpunkte mit Hilfe der Methoden der dynamischen Segmentierung die Höhen aus dem DGM zugeordnet und in einer gemeinsamen Point-Event-Tabelle (Abb. 7) eingestellt. Allerdings erreichen diese Eventtabellen leicht

Größenordnungen von 30. - 40.000 Datensätzen. Dabei müssen - je nach Durchführung der terrestrischen oder photogrammetrischen Messung - nicht an jeder Station für alle drei Routen Informationen vorhanden sein .

EVE-Attribut	Wert (Beispiel)
Bach-ID	1
Station	100.78
Sohle-Rechtswert	2570124.456
Sohle-Hochwert	5732670.845
Sohle-Höhe 1995	48.222
Linke Böschungskante-Rechtswert	2570122.645
Linke Böschungskante-Hochwert	5732667.416
Linke Böschungskante-Höhe 1995	48.950
Rechte Böschungskante-Rechtswert	2570127.148
Rechte Böschungskante-Hochwert	5732672.560
Rechte Böschungskante-Höhe 1995	49.174

Abb. 7: Schematischer Aufbau der Point-Event-Tabelle des dreidimensionalen Gewässernetzes

14 Gewässernetz („vierdimensional“)

Wie in Kap. 2 beschrieben, führt der untertägige Abbau zu Senkungen an der Tagesoberfläche. Für die Untersuchungen und Prognosen im Rahmen der UVS und des wasserwirtschaftlich-ökologischen Gutachtens müssen deshalb für eine Reihe fest definierter Zeitschnitte (Abb. 8) die zu erwartenden Senkungen auf Grundlage der gültigen Abbauplanung vorausberechnet werden. Ausgangspunkt ist dabei immer der Zeitpunkt des Bildfluges.

Zeitschnitt	Datum (Beispiel)
Digitales Geländemodell (Bildflug)	01.03.1995
Terrestrische Gewässervermessung	25.06.1997
Ökologische Bestandsbeschreibung (Istzustand)	31.03.1997
Hydrologische Bestandsbeschreibung (Istzustand)	31.03.1997
Grundwassermodell (Kalibrierung)	25.06.1997
Beginn des durch den RBP zu genehmigenden Abbaus (Ausgangsbasis)	31.12.2000
Ende des durch den RBP zu genehmigenden Abbaus	31.12.2020

Abb. 8: Beispielhafte Übersicht relevanter Zeitschnitte für das RBP-Verfahren

Für diese Zeitschnitte wird das DGM 2.Stufe unter Beibehaltung aller linienhafter Strukturen abgesenkt. Alle Punkte des dreidimensionalen Gewässernetzes werden ebenfalls mit diesen Senkungen verknüpft, und die Point-Event-Tabelle wird um die entsprechenden Höhen der einzelnen Zeitschnitte ergänzt (Abb. 9).

EVE-Attribut	Wert (Beispiel)
Bach-ID	1
Station	100.78
Sohle-Rechtswert	2570124.456
Sohle-Hochwert	5732670.845
Sohle-Höhe 1995	48.222
Sohle-Höhe 1997	48.222
Sohle-Höhe 2000	47.348
Sohle-Höhe 2020	45.295
Linke Böschungskante-Rechtswert	2570122.645
Linke Böschungskante-Hochwert	5732667.416
Linke Böschungskante-Höhe 1995	48.950
Linke Böschungskante-Höhe 1997	48.948
Linke Böschungskante-Höhe 2000	47.983
Linke Böschungskante-Höhe 2020	45.873
Rechte Böschungskante-Rechtswert	2570127.148
Rechte Böschungskante-Hochwert	5732672.560
Rechte Böschungskante-Höhe 1995	49.174
Rechte Böschungskante-Höhe 1997	49.173
Rechte Böschungskante-Höhe 2000	48.154
Rechte Böschungskante-Höhe 2020	46.062

Abb. 9: Schematischer Aufbau der Point-Event-Tabelle des „vierdimensionalen“ Gewässernetzes

Zwischen dem Zeitpunkt des Bildfluges sowie der terrestrischen Vermessung und dem Beginn bzw. Ende des zu genehmigenden Abbaus kann es aufgrund von verbindlichen Gewässerausbauplanungen (z.B. Vertiefung, Verlegung) zu geometrischen Veränderungen der Gewässer - sowohl in der Lage als auch in der Höhe - kommen. Diese Veränderungen werden ebenfalls in die entsprechenden DGMS und Gewässernetze eingearbeitet. Dadurch kann es in den Routensystemen zur Definition neuer Routen kommen. Alte Routen dürfen dagegen für die Betrachtung anderer Zeitschnitte nicht mehr berücksichtigt werden. Um diese zeitschnittabhängige Betrachtung zu ermöglichen, werden die RATs des Gewässernetzes um Angaben der Gültigkeit einer Route ergänzt (Abb. 10).

RAT-Attribute	Wert (Beispiel)
Sohle#	39
Sohle-ID	55
Kuerzel	4.46
Name	Erlenbach
Gültig von	01.03.1995
Gültig bis	31.12.2000

Abb. 10: Schematischer Aufbau RAT des „vierdimensionalen“ Gewässernetzes

15 Gewässerlängenschnitte

Eine wichtige Arbeitsgrundlage der Fachgutachter für die Bearbeitung der Oberflächengewässer sind Gewässerlängenschnitte (Abb. 11a + 11b). Diese Längenschnitte werden mit Hilfe speziell entwickelter AML-Programme aus dem „vierdimensionalen“ Gewässernetz erzeugt. Die Geometrie des Schnittes ergibt sich dabei aus den Stationsangaben und den Höhenangaben der jeweils darzustellenden Zeitschnitte. Es können beliebige Zeitschnitt-Kombinationen von Sohlen- und Geländeböschungskanten kombiniert werden, allerdings hat sich in der Praxis die Darstellung von maximal drei Zeitschnitten pro Längenschnitt bewährt. Die lagerichtige Darstellung von Sohle und zugehörigen Geländeböschungskanten wird durch die in Kap. 11 beschriebenen Tripel gewährleistet. Die Länge der dargestellten Sohle entspricht standardmäßig der zugeordneten Stationierung, die Geländeböschungskanten werden entsprechend verkürzt oder gestreckt dargestellt.

Im Bedarfsfall können auch Schnitte mit der Darstellung der wahren Länge anstelle der Stationierung erzeugt werden. Die Schnitte werden für beliebige Gewässerabschnitte oder für gesamte Gewässer angefertigt, dabei können bei Hauptgewässern Schnitte mit Plotlängen von mehreren Metern entstehen.

Zusätzlich enthält der Schnitt Angaben über punktförmige und linienhafte Besonderheiten (z.B. Verrohrung) sowie weitere Informationen beliebiger Art (z.B. Herkunft der Daten) aus angehängten Event-Tabellen.

LEGENDE:

	Sohle 31.03.1997
	Gelände Links 31.03.1997
	Gelände Rechts 31.03.1997
	Sohle 31.12.2000
	Gelände Links 31.12.2000
	Gelände Rechts 31.12.2000
	Sohle 31.12.2020
	Gelände Links 31.12.2020
	Gelände Rechts 31.12.2020
	Linienhafte Besonderheiten (aus terr. Vermessung DMT 1997)
	Punktförmige Besonderheiten (aus terr. Vermessung DMT 1997)

Zusatzinfo: (aus fotogr. Datenbestand)













	photogr. gemessene Sohle, trocken
	photogr. gemessene Sohle, trocken, unsicher
	photogr. gemessene Sohle, unsicher nass/trocken
	photogr. gemessene Achse, Wasserhöhe
	digital. Sohle aus analogen Unterlagen, Höhe aus Schnitt
	digital. Sohle aus analogen Unterlagen, Höhe aus Schnitt, abgesenkt
	photogr. gemessene Achse, wasserführend, unsicher
	photogr. gemessene Achse, konstruierte Verbindungslinie
	terr. gemessene Sohle
	Durchlass / Verrohrung, Sohlenhöhe
	Durchlass / Verrohrung, konstruierte Verbindungslinie
	digital. Sohle aus Planungsunterlagen

Abb. 11a: Legende für Gewässerlängenschnitt

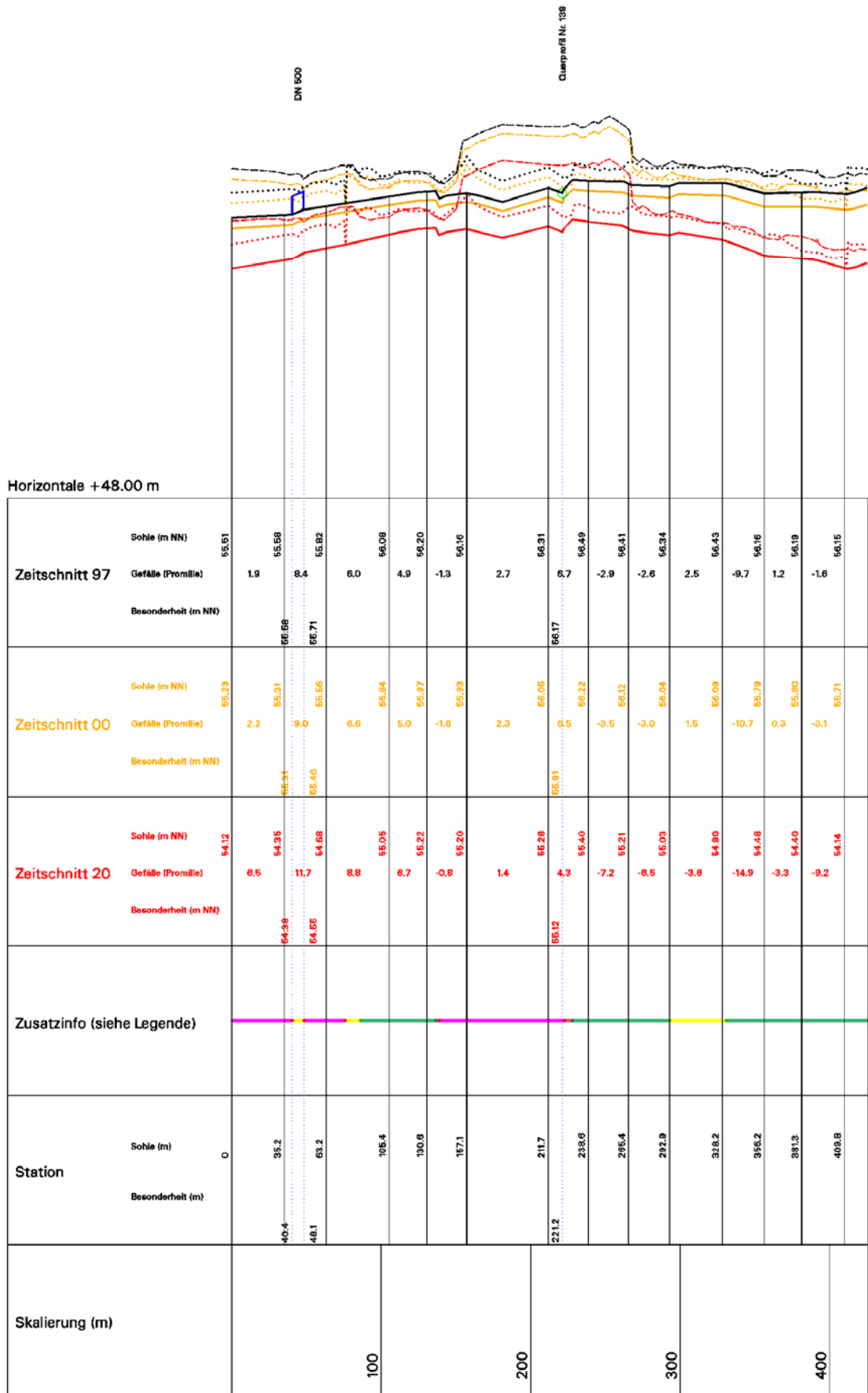


Abb. 11b: Gewässerlängenschnitt

Auf topographischer Grundlage (i.d.R. DGK 5) werden außerdem zugehörige Lagepläne mit Darstellungen der Routen einschließlich der Kilometrierung erzeugt.

16 Ökologische Analysen und Karten

Neben der hydrologischen Bearbeitung erfolgt eine intensive ökologische Betrachtung der Gewässer. Dazu erfolgt die Erfassung von standardisierten Bestandsdaten durch die Fachgutachter wie in Kap. 7 beschrieben in Access-Datenbanken (DEEP) sowie der Bewertungs- und Prognosedaten in Excel – jeweils mit Angabe von Gewässerkürzel sowie Stationsangaben.

Diese Daten werden in Point- bzw. Line-Event-Tabellen überführt und mit dem „vierdimensionalen“ Gewässernetz verknüpft (Abb. 12). Aus diesen Datenbeständen werden eine Reihe von kartographisch hochwertigen UVS-Karten (Abb. 13) für das Schutzgut Wasser erzeugt. Zusätzlich wird das Gewässernetz auch in einer Vielzahl anderer thematischer Karten dargestellt (z.B. Biotoptypenkarten, faunistische Karten, Grundwasserkarten).

EVE-Attribut	Wert (Beispiel)
Kuerzel	4.46
From	20
To	40
Wasserführung	temporär
Morphologie	naturfern
Gewässergüte	mäßig belastet
Gewässerumfeld	entwässerte Bachau
Biozönose	gewässertypisch
Eisenocker	nein
Trittschäden	nein
Salzbelastung	hoch
Düngemittelbelastung	sehr hoch

Abb. 12: Schematischer Aufbau der Event-Tabelle für linienhafte ökologische Bestandsdaten

Die Erzeugung der Gewässerkarten erfolgt mittels AML-Programmierung unter Nutzung der standardmäßigen ArcPlot-Möglichkeiten. Um die wichtigen Informationen hervorzuheben, werden die Karten opaque und mit entsprechenden Freistellungen erzeugt. Um mehrere Line-Events pro Gewässer in einer Karte darstellen zu können, werden bis zu zwei farbige Bänder auf jeder Gewässerseite dargestellt. Eine Prioritätenvergabe sorgt dafür, daß bei möglichen Überlagerungen (z.B. im Bereich von Mündungen) immer die Informationen des wichtigeren Gewässers dargestellt werden (Abb. 13). Point-Events werden entweder auf der Gewässerachse selbst oder auf der jeweils relevanten Seite des Gewässers (z.B. bei Einleitungsstellen) dargestellt (Abb. 13).

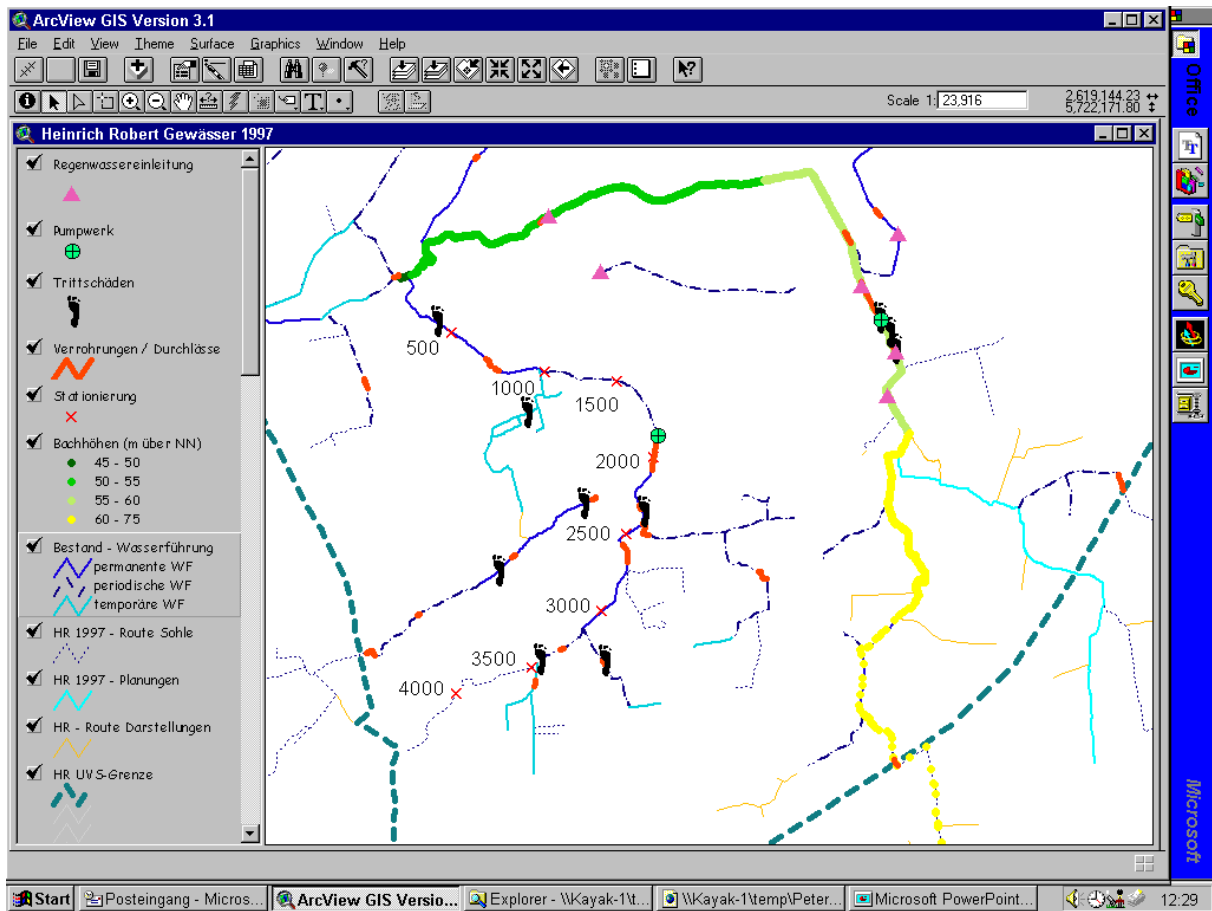


Abb. 14: ArcView-Darstellung Gewässerbestand (Auszug)

Dies wird sicherlich in der Zukunft im Rahmen des Gewässermonitorings von entscheidender Bedeutung sein. Die im Rahmen der UVS-Bearbeitung erzeugten Datenbestände werden in den Datenpool der DSK-Geodatenzentralbank (vgl. Kap. 1) eingestellt. Damit stehen sie zukünftig online allen Interessierten per Intranet/Internet zur Verfügung und werden sicherlich auch Grundlage bilden für Bearbeitungen, die über die Rahmenbetriebsplanerstellung hinausgehen.