

GIS ALS WERKZEUG FÜR DIE GROSSRÄUMIGE BEWERTUNG DES KONTAMINATIONSRIKOS FÜR DIE WASSERRESSOURCEN IM DONG-NAI-FLUSSGEBIET IN VIETNAM

**Andreas Borgmann, Sandra Greassidis, Sylvia Jaschinski, Christian Jolk,
Björn Zindler, Harro Stolpe**

U+Ö Umwelttechnik und Ökologie im Bauwesen, Ruhr-Universität Bochum

Das F+E-Vorhaben „Integriertes Wasserressourcenmanagement Vietnam“ (IWRM-Vietnam, Förderung durch das BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung) hat zum Ziel, ein Planungs- und Entscheidungsunterstützungssystem für das integrierte Wasserressourcenmanagement in Vietnam zu entwickeln. Dabei geht es zunächst um einen großräumigen, flussgebietsbezogenen Ansatz im Maßstab von etwa 1 : 300 000. Es sollen Teileinzugsgebiete (WMUs = Water Management Units) mit erhöhter Problemintensität und erhöhtem Handlungsbedarf identifiziert und priorisiert werden. Hiervon ausgehend besteht dann die Möglichkeit, für die so ermittelten prioritären WMUs weitergehende Untersuchungen in detaillierteren Maßstäben vorzunehmen und danach auch Maßnahmen für das Ressourcenmanagement abzuleiten.

Bild 1 stellt die Lage des Projektgebietes dar. Es handelt sich um einen Bereich des Dong-Nai-Einzugsgebietes im südlichen zentralen Bergland Vietnams. Das Dong-Nai-Einzugsgebiet ist das drittgrößte Flussgebiet in Vietnam. Das Projektgebiet umfasst den oberen und mittleren Teil des Dong-Nai-Einzugsgebietes (siehe Bild 1). Es hat eine Fläche von 15 000 km². Das Projektgebiet wurde im Rahmen des F+E-Vorhabens in 22 WMUs unterteilt.

Für die Bearbeitung des F+E-Vorhabens findet eine umfangreiche Datenbearbeitung statt. Hauptinstrument für die Datenerfassung, -bearbeitung und -bewertung sowie für die Ergebnisdarstellung ist ein Geoinformationssystem (GIS). Mit Hilfe des GIS erfolgt für jede WMU eine Wasserbilanzierung (Vergleich des Wasserdargebotes mit dem Wasserverbrauch und dem Wasserbedarf) und eine Abschätzung des Kontaminationsrisikos, welches aufgrund unterschiedlicher Nutzungen (Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Siedlungen usw.) für die Wasserressourcen (Grundwasser, Oberflächenwasser) besteht.

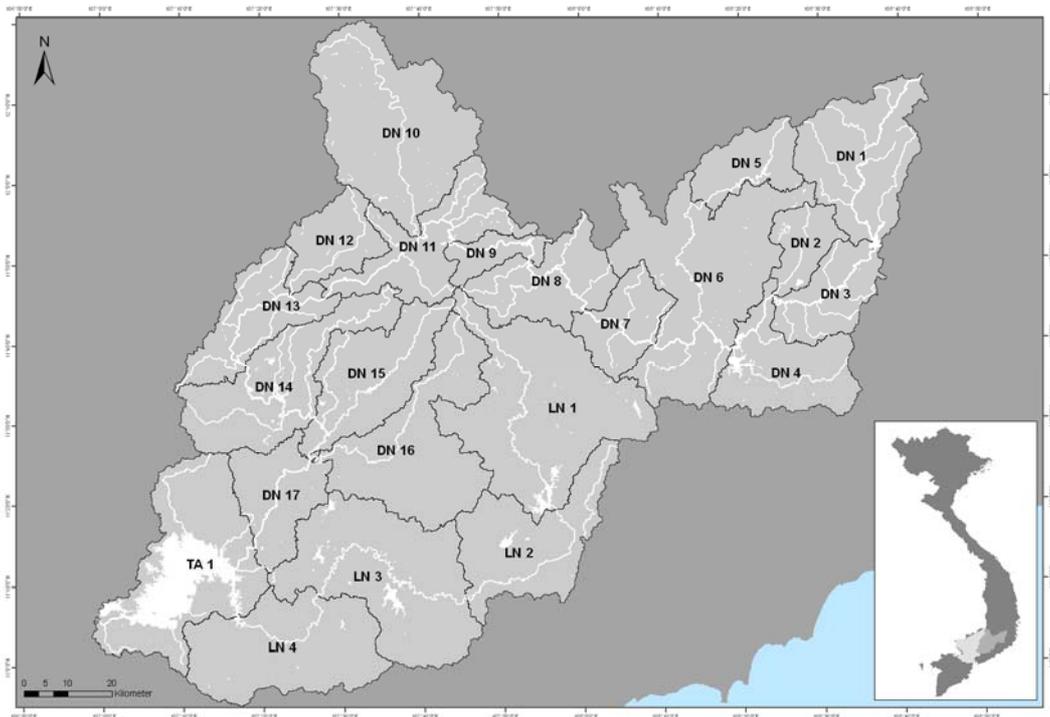


Bild 1: Lage des Projektgebietes (weiße Linien = Gewässernetz; DN1–17, LN1–4, TA1 = WMUs Water Management Units)

Das Kontaminationsrisiko für die Wasserressourcen ergibt sich durch eine gemeinsame Bewertung der Ressourcenempfindlichkeit der Wasservorkommen (Oberflächenwasser, Grundwasser) und des Kontaminationspotenzials, welches mit den verschiedenen schadstoffrelevanten Landnutzungen (Punktquellen, diffuse Quellen) verbunden ist:

$$\text{Ressourcenempfindlichkeit} + \text{Kontaminationspotenzial} = \text{Kontaminationsrisiko}$$

Die Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen ergibt sich aus der Ergiebigkeit der Grundwasserleiter sowie ihrer Bedeutung für die Wasserversorgung, der Mächtigkeit der Deckschichten oberhalb der Grundwasseroberfläche und den Bodeneigenschaften. Die Ressourcenempfindlichkeit der Oberflächenwasservorkommen ergibt sich aus ihrer Bedeutung für die Wasserversorgung, aus dem möglichen erosionsbedingten Bodenabtrag und der Gewässerdichte. Dieser Ansatz konzentriert sich zunächst auf die Nutzbarkeit der Wasserressourcen und soll auf den ökologischen Gewässerzustand erweitert werden.

Das Kontaminationspotenzial von Punktquellen geht u.a. auf gewerbliche und industrielle Aktivitäten, auf Deponien, Tankstellen usw. zurück und ist durch mögliche Einträge von organischen Stoffen, Schwermetallen, Mineralöl u.a. gekennzeichnet.

Das Kontaminationspotenzial diffuser Quellen geht u.a. auf landwirtschaftliche Chemikalien für die Düngung (Nitrat, Phosphat) und für den Pflanzenschutz (Pestizide) zurück. Im vorliegenden Fall werden auch Einträge aus den flächig verbreiteten Siedlungen und Einzelbebauungen zu den diffusen Quellen gezählt.

Es werden drei mögliche Kontaminationspfade unterschieden (siehe Bild 2). Dabei handelt es sich um den möglichen Eintrag von Stoffen aus Punktquellen und diffusen Quellen

- durch Versickerung gelöster Stoffe ins Grundwasser (Kontaminationspfad 1),
- durch Erosion und Partikel-gebundenen Transport in Oberflächengewässer (Kontaminationspfad 2) sowie
- durch direkte Einleitung in Oberflächengewässer (Kontaminationspfad 3).

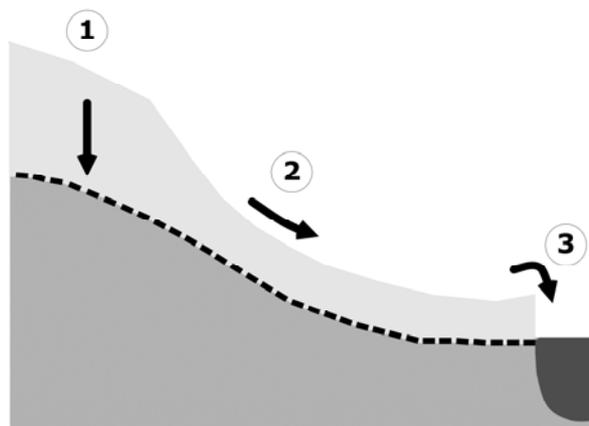


Bild 2: Kontaminationspfade (Pfad 1: Versickerung, Pfad 2: Oberflächenabfluss, Pfad 3: Direkteinleitung)

RESSOURCENEMPFINDLICHKEIT

Im Folgenden wird die für das F+E-Vorhaben IWRM-Vietnam gewählte Methodik zur Ermittlung des Kontaminationsrisikos am Beispiel des Kontaminationspfads 1 erläutert. Die Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen wird für den jeweils oberen Grundwasserleiter ermittelt, wobei im Projektgebiet sowohl Fest- als auch Lockergesteine vorkommen.

Es handelt sich um eine überschlägige Abschätzung der Ressourcenempfindlichkeit in einem Bearbeitungsmaßstab von etwa 1 : 300 000 auf der Grundlage der in diesem Maßstab in Vietnam verfügbaren Daten und Unterlagen. Diese erste Abschätzung soll im Rahmen der durchzuführenden Priorisierung der Problemintensität und des Handlungsbedarfes für WMUs mit höherer Priorität durch zusätzliche Datenerhebungen verfeinert und differenziert werden. Hierzu sollen in Abstimmung mit den vietnamesischen Partnern und nach Maßgabe der verfügbaren Informationen weitergehende Methoden wie z. B. DRASTIC [1] herangezogen werden.

Die Ressourcenempfindlichkeit des Grundwassers entsprechend der gewählten überschlägigen Methode ergibt sich im Wesentlichen aus:

- der relativen Ergiebigkeit der Grundwasserleiter entsprechend den in der Geologischen Karte 1 : 200 000 beschriebenen Gesteine [2]
- der Mächtigkeit der Deckschichten entsprechend den in der Geologische Karte Vietnams 1 : 200 000 beschriebenen Gesteine [2], [3]
- der Schutzwirkung der Böden entsprechend den in der Bodenkarte Vietnams 1 : 100 000 beschriebenen Böden [4]
- zusätzlichen Informationen aus Erläuterungstexten zu den o.g. Karten, lokaler Literatur, lokalen Studien und Berichten, mündlichen Informationen vietnamesischer Experten und Geländebefahrungen und -begehungen

Die Bewertung der Ressourcenempfindlichkeit des Grundwassers erfolgt entsprechend den genannten Kriterien gemäß einer vierstufigen Einteilung von „keine“ (nicht vorhanden), über „gering“ „mittel“ bis „hoch“. Gemeint ist dabei im Einzelnen:

- Keine, geringe, mittlere, hohe Ergiebigkeit des oberen Grundwasserleiters in Anlehnung an die Einteilung der Durchlässigkeiten im hydrogeologischen Kartenwerk NRW [5]
- Keine Deckschicht vorhanden, Deckschichten von geringer, mittlerer, hoher Mächtigkeit
- Keine, geringe, mittlere, hohe Schutzwirkung der Böden in Anlehnung an die Einteilung der Zusammensetzung der Bodenarten nach COSBY [6], wobei der Tonanteil der wesentliche Parameter ist.

Die Gesamtbewertung erfolgt auf der Grundlage einer hierfür entwickelten Aggregationsmatrix wiederum in einer vierstufigen Einteilung: „Keine“, „geringe“, „mittlere“ und „hohe“ Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen.

Innerhalb des verwendeten GIS werden die Einzeleinstufungen und die Gesamtbewertung arbeitstechnisch mittels eines Punktesystem umgesetzt. Nach der vorgenommenen Bewertung ergibt sich im Untersuchungsgebiet beispielsweise folgende charakteristische Ressourcenempfindlichkeit der überwiegend in Festgesteinen vorhandenen Grundwasservorkommen:

Beispiele für „hohe Ressourcenempfindlichkeit“ der Grundwasservorkommen

- Festgesteinsgrundwasserleiter mit hoher Ergiebigkeit (z. B. Basalte), Deckschichten mit geringer bis mittlerer Mächtigkeit und Böden mit geringer Schutzwirkung
- Lockergesteinsgrundwasserleiter in Talauen mit den dortigen hohen Grundwasserständen und temporären Überflutungen - unabhängig von den Deckschichten und den Bodeneigenschaften

Beispiele für „mittlere Ressourcenempfindlichkeit“ der Grundwasservorkommen

- Festgesteinsgrundwasserleiter mit hohen Ergiebigkeiten (z.B. die im Projektgebiet weitverbreiteten Basalte), Deckschichten mit hoher Mächtigkeit und Böden mit hoher Schutzwirkung
- Festgesteinsgrundwasserleiter mit mittleren Ergiebigkeiten (z.B. jurassische Wechsellagerungen aus Sandstein und Tonstein), Deckschichten mit mittlerer bis hoher Mächtigkeit und Böden mit mittlerer bis hoher Schutzwirkung

Beispiele für „geringe Ressourcenempfindlichkeit“ der Grundwasservorkommen

- Festgesteinsgrundwasserleiter mit geringen Ergiebigkeiten (aber ggf. örtlichen Grundwasservorkommen auf Störungen oder in der Auflockerungszone - z.B. Granite), Deckschichten mit mittlerer bis hoher Mächtigkeit und Böden mit mittlerer bis hoher Schutzwirkung

Bild 3 gibt die resultierende Karte der Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen wieder. Der überwiegende Teil der als „hoch“ eingestuften Ressourcenempfindlichkeiten beruht auf einer hohen Ergiebigkeit von Festgesteinsgrundwasserleitern in Basalten in Kombination mit einer geringen bis mittleren Mächtigkeit der Deckschichten. Der überwiegende Teil der als „gering“ eingestuften Empfindlichkeiten beruht auf geringen Ergiebigkeiten von Festgesteinsgrundwasserleitern (z.B. Granite); sie weisen im Projektgebiet einen nur geringen Flächenanteil auf.

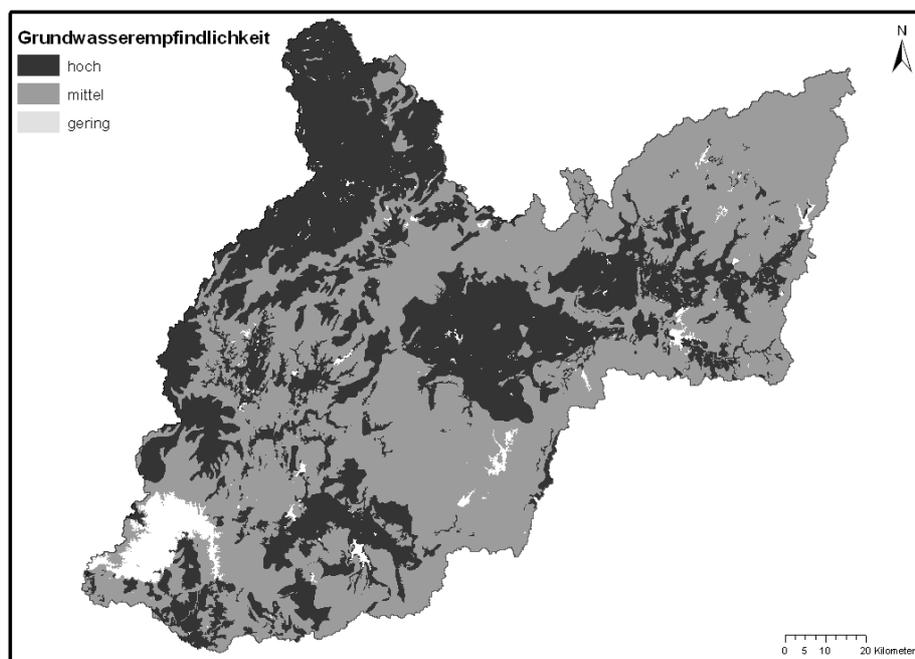


Bild 3: Ergebniskarte Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen

Eine im F+E-Vorhaben IWRM-Vietnam entwickelte erweiterte Betrachtung der Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen bezieht sich auf die Nutzung der Grundwasservorkommen. Genutzte Grundwasservorkommen werden nach dieser Betrachtungsweise in ihrer Empfindlichkeit entsprechend der Intensität und der Bedeutung der Grundwassernutzungen in nachfolgend aufgeführter Weise herauf gestuft. Die Bewertung bezieht sich grundsätzlich auf Hausbrunnen zur Versorgung einzelner Häuser und auf öffentliche Wasserwerke. Da öffentliche Wasserwerke mit Förderung aus dem Grundwasser im Projektgebiet bisher nur sehr untergeordnet vorhanden sind, basieren die bisher vorgenommenen Bewertungen im Kern auf den im Projektgebiet vorhandenen Hausbrunnen.

Die Bewertung erfolgt wiederum in vier Bewertungsstufen:

- „keine“ Hausbrunnen vorhanden
- Hausbrunnendichte „gering“ (weniger als 0,2 Brunnen pro km²)
- Hausbrunnendichte „mittel“ (0,2 - 1 Brunnen pro km²)
- Hausbrunnendichte „hoch“ (mehr als 1 Brunnen pro km²) oder Einzugsgebiete von öffentlichen Wasserwerken (entweder als pauschale Abgrenzung oder in Form von ausgewiesenen Wasserschutzgebieten) oder Wasserreservegebiete

Datengrundlagen sind Angaben zur Anzahl von Hausbrunnen pro Kommune und Angaben des Vietnamesische Ministry of Natural Resources and Environment (MoNRE) [7]. Da bisher in Vietnam Wasserschutzgebiete für öffentliche Wasserwerke nicht verbindlich ausgewiesen werden, erscheint zunächst eine pauschale kreisförmige Abgrenzung mit einem Radius von 1 km um die Wasserwerksbrunnen sinnvoll. Soweit es in Vietnam in Zukunft zur verbindlichen Ausweisung von Wasserschutzgebieten kommt, sollen sie stattdessen in die Bewertung übernommen werden.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Reservegebiete mit herauf gestufter Ressourcenempfindlichkeit auszuweisen. Hierbei handelt es sich um ein planerisches Instrument des vorsorgenden Wasserressourcenmanagements. Hiervon soll im weiteren Vorgehen in Abstimmung mit den vietnamesischen Partnern Gebrauch gemacht werden.

Bild 4 zeigt die erweiterte Karte der Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen. Durch die Berücksichtigung der Nutzung der Grundwasservorkommen erhöht sich der Flächenanteil der Gebiete, die eine hohe Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen aufweisen (dunkle Flächen).

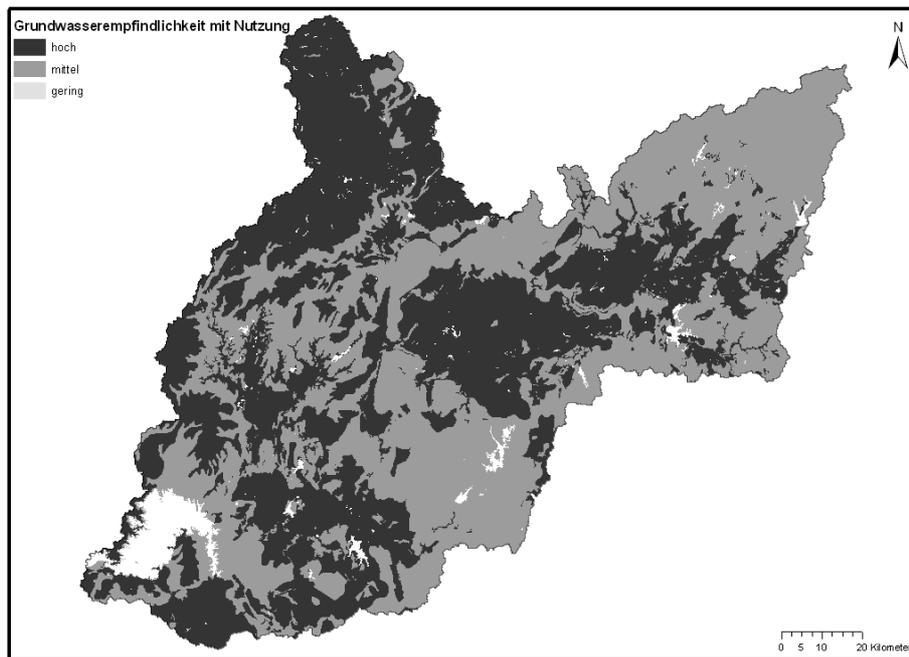


Bild 4: Ergebniskarte Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen unter Berücksichtigung der Nutzung der Grundwasservorkommen

KONTAMINATIONSPOTENZIAL

Im Folgenden wird die für das F+E-Vorhaben IWRM-Vietnam gewählte Methodik zur Ermittlung des Kontaminationspotenzials wiederum am Beispiel des Kontaminationspfades 1 (Versickerung) erläutert. Das Kontaminationspotenzial auf dem Kontaminationspfad 1 steht für das räumliche Vorhandensein von wassergefährdenden Stoffen, die in gelöster Form als Sickerwasser in das Grundwasser gelangen können.

Betrachtet werden Stoffe aus:

- diffusen Quellen aus der Landwirtschaft (Nitrat aus der Düngung und Pestizide),
- in ihrer Gesamtheit als diffuse Quellen betrachteten Quellen durch Abwassereinträge aus Siedlungen und Einzelbebauungen sowie
- Punktquellen in Form von Gewerbe- und Industriebetrieben und Deponien.

Stoffe aus diffusen Quellen aus der Landwirtschaft

In Abhängigkeit von der jeweiligen landwirtschaftlichen Nutzung (Anbau von Reis, Anbau einjähriger Kulturen wie z.B. Mais und Gemüse, Anbau von Obstbaumkulturen, Anbau mehrjähriger Kulturen wie z.B. Kaffee, Tee) werden im Durchschnitt unterschiedliche Mengen an stickstoffhaltigen Düngemitteln und Pestiziden aufgebracht [8], [9], [10], [11] (vgl. Tabelle 1).

Tab. 1: Durchschnittlicher Düngemittelauftrag und Pestizidauftrag

Anbaufrucht	Düngemittelauftrag [kg/ha*Jahr]	Pestizidauftrag [kg/ha*Jahr]
Reisanbau	90	0,5
Einjährige Kulturen	63 - 81	1
Obstbaumkulturen	77 - 292	2
Mehrjährige Kulturen	178	1,5

Die Bewertung des Düngemittelauftrages und des Pestizidauftrages erfolgt wiederum jeweils in vier Bewertungsstufen:

Düngemittelauftrag

- „Kein“ Düngemittelauftrag
- Düngemittelauftrag „gering“: weniger als 80 kg pro ha und Jahr
- Düngemittelauftrag „mittel“: 80 - 160 kg pro ha und Jahr
- Düngemittelauftrag „hoch“: mehr als 160 kg pro ha und Jahr

Pestizidauftrag

- „Kein“ Pestizidauftrag
- Pestizidauftrag „gering“: weniger als 1 kg pro ha und Jahr
- Pestizidauftrag „mittel“: 1 - 1,5 kg pro ha und Jahr
- Pestizidauftrag „hoch“: mehr als 1,5 kg pro ha und Jahr

Bild 5 stellt das Kontaminationspotenzial von Düngemitteln dar. Dunkle Flächen sind Bereiche in denen das Kontaminationspotenzial hoch ist z.B. Obstbaumkulturen oder mehrjährige Kulturen. Alle Regionen ohne landwirtschaftliche Nutzung (z.B. Wald, Siedlungsflächen, Wasserflächen) haben in Bezug auf Düngemittel kein Kontaminationspotenzial.

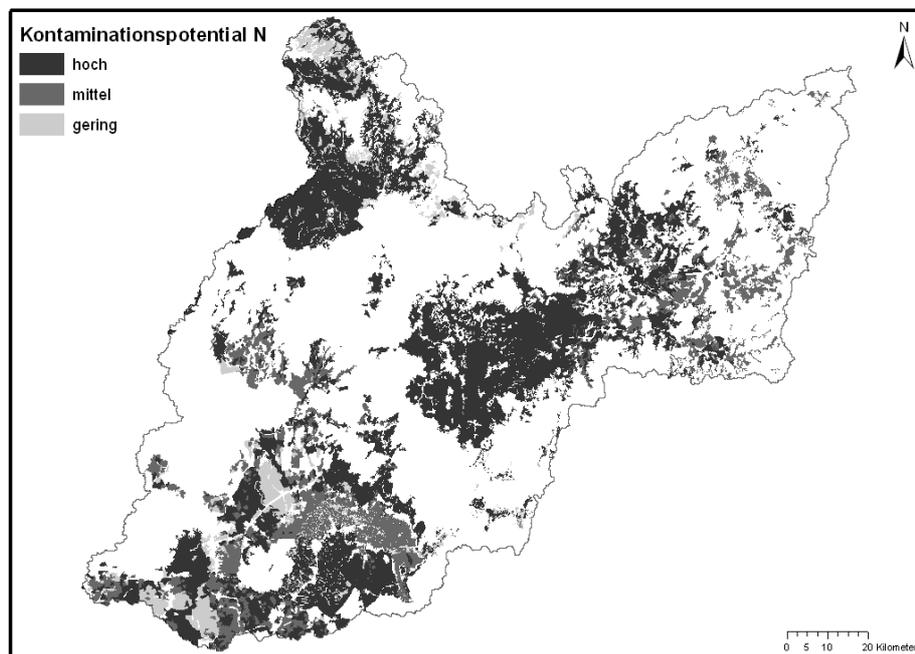


Bild 5: Kontaminationspotenzial durch Düngemittelauftrag

Stoffe aus Abwassereinträgen aus Siedlungsflächen und Einzelbebauungen

Siedlungen sind für das Kontaminationspotenzial auf dem Kontaminationspfad 1 (Versickerung) relevant, da es im Untersuchungsgebiet überwiegend keine Abwasserreinigung durch Kläranlagen gibt (mit Ausnahme einer zentralen Kläranlage in der Provinzhauptstadt Dalat der Provinz Lam Dong).

Nur etwa ein Drittel der ländlichen Bevölkerung verwendet Septic Tanks (Abwassertanks, Abwassergruben), welche häufig nicht ausreichend gewartet werden. Aufgrund solcher oft nicht funktionsfähiger oder nicht vorhandener Septic Tanks kommt es zu einer erheblichen (nicht quantifizierbaren) Abwasserversickerung entsprechend der jeweiligen Siedlungsdichte.

Die Bewertung der Siedlungsdichte und damit das Kontaminationspotenzial durch Abwasserversickerung erfolgt wiederum in vier Bewertungsstufen:

- „keine“ Abwassereinträge wegen fehlender Besiedlung
- Abwassereinträge „gering“, da Siedlungsdichte „gering“: weniger als 30 Siedlungspunkte pro km²
- Abwassereinträge „mittel“, da Siedlungsdichte „mittel“: 30 - 70 Siedlungspunkte pro km²
- Abwassereinträge „hoch“, da Siedlungsdichte „hoch“: mehr als 70 Siedlungspunkte pro km² oder geschlossene Ortschaft

Siedlungspunkte sind die vom Autor der verwendeten GIS-Grundlagen angegebenen Häuser [10]. Sie entsprechen nicht der tatsächlichen Siedlungsdichte, sind aber als Maß für die relative Siedlungsdichte und damit für die relative Bevölkerungsdichte verwendbar. Geschlossene Ortschaften werden unabhängig von den angegebenen Siedlungspunkten immer mit „Siedlungsdichte hoch“ eingestuft.

Bild 6 gibt das relative Kontaminationspotenzial durch Abwasserversickerung entsprechend der Siedlungsdichte wieder. Dunkle Bereiche weisen ein hohes Kontaminationspotenzial auf. Weiße Bereiche stehen für nicht oder sehr gering besiedelte Regionen.

Im weiteren Vorgehen ist zu berücksichtigen, dass es in Zukunft mehr Kläranlagen geben wird. In Gebieten oder Ortschaften mit funktionierender Abwasserklärung ist dann eine Herabstufung des Kontaminationspotenzials vorzunehmen.

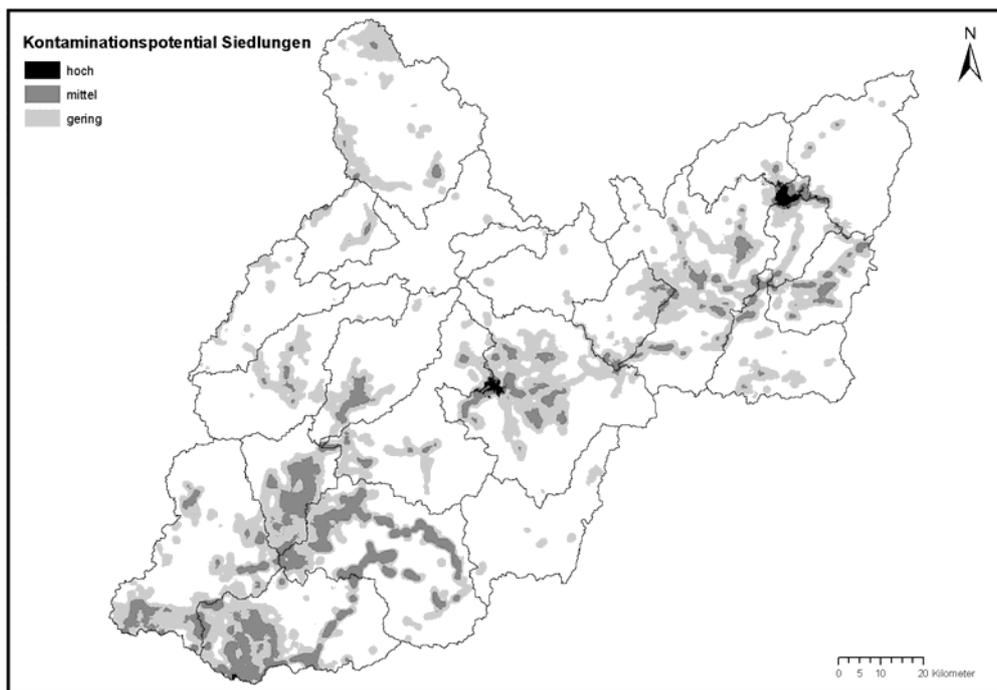


Bild 6: Kontaminationspotenzial durch Abwasserversickerung aus Siedlungen und Einzelbebauungen

KONTAMINATIONSRISIKO

Das Kontaminationsrisiko für den hier betrachteten Kontaminationspfad 1 ist Ergebnis einer Überlagerung aus der Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen und dem jeweiligen Kontaminationspotenzial. Tabelle 2 stellt die Aggregationsmatrix zur Ermittlung des resultierenden Kontaminationsrisikos dar.

Tab. 2: Aggregationsmatrix für das Kontaminationsrisiko auf dem Kontaminationspfad 1 (Versickerung)

		Kontaminationspotenzial auf dem Kontaminationspfad 1			
		Kein	Gering	Mittel	Hoch
Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen	Kein	Kein	Kein	Kein	Kein
	Gering	Kein	Gering	Gering	Mittel
	Mittel	Kein	Gering	Mittel	Hoch
	Hoch	Kein	Mittel	Hoch	Hoch

Es ergeben sich entsprechend Tabelle 2 für die Aggregation der Kontaminationspotenziale und der Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen für das Kontaminationsrisiko wiederum vier Bewertungsstufen „kein“, „gering“, „mittel“ und „hoch“.

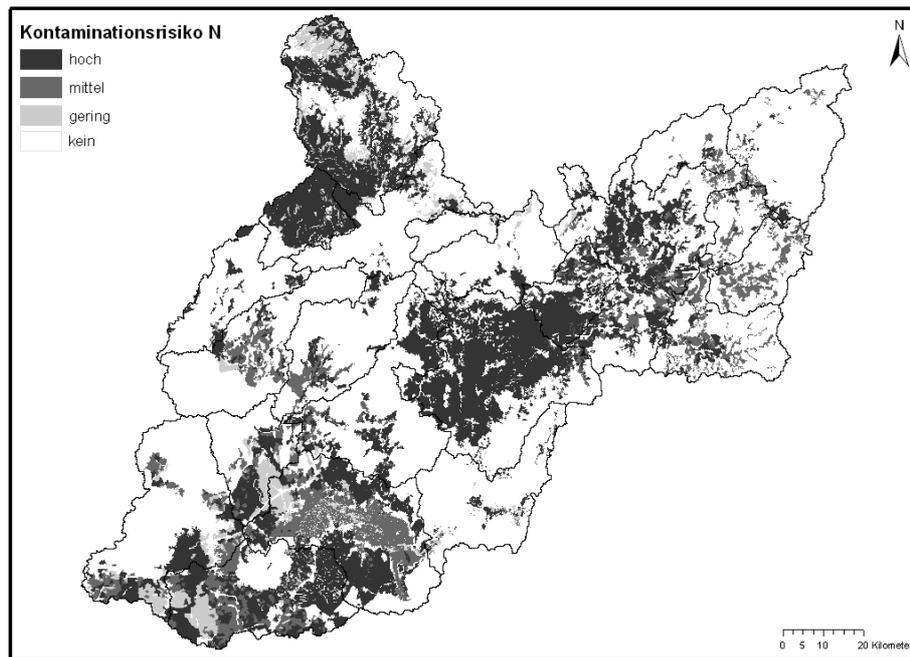


Bild 7: Kontaminationsrisiko für die Grundwasservorkommen durch Düngemittelauftrag

Bild 7 zeigt das Kontaminationsrisiko für die Grundwasservorkommen durch Düngemittelauftrag. Dunkle Flächen bedeuten, dass ein erhöhtes Risiko für einen Eintrag von Stickstoff ins Grundwasser besteht.

Dies können entsprechend Bild 7 Bereiche mit unterschiedlicher Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen und unterschiedlichen Kontaminationspotenzialen durch die Landwirtschaft sein, beispielsweise Flächen mit einer hohen Ressourcenempfindlichkeit und einem hohen Kontaminationspotenzial aus der Landwirtschaft oder Flächen mit einer mittleren Ressourcenempfindlichkeit und einem hohen Kontaminationspotenzial aus der Landwirtschaft usw.

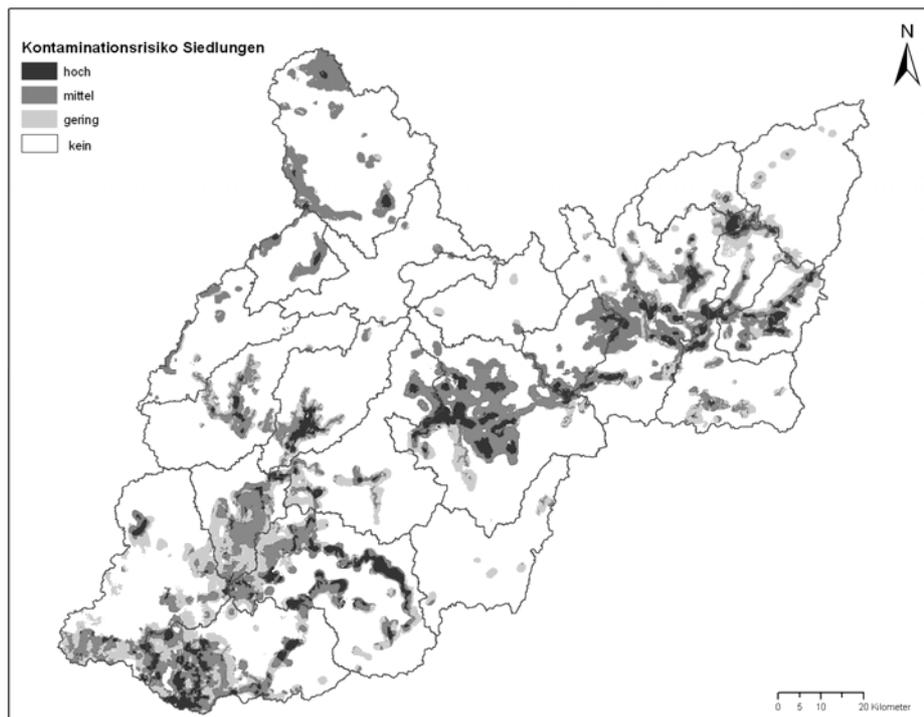


Bild 8: Kontaminationsrisiko für die Grundwasservorkommen durch Abwasserversickerung aus Siedlungen und Einzelbebauungen

Bild 8 zeigt das Kontaminationsrisiko für Abwasserversickerung aus Siedlungen. Dunkle Flächen bedeuten, dass ein erhöhtes Risiko für einen Eintrag von Abwasser ins Grundwasser besteht.

Dies können entsprechend Bild 8 Bereiche mit unterschiedlicher Ressourcenempfindlichkeit der Grundwasservorkommen und unterschiedlichen Kontaminationspotenzialen durch Siedlungen sein, beispielsweise Flächen mit einer hohen Ressourcenempfindlichkeit und einem hohen Kontaminationspotenzial durch Siedlungen oder Flächen mit einer mittleren Ressourcenempfindlichkeit und einem hohem Kontaminationspotenzial durch Siedlungen usw.

Insgesamt ergeben die dargestellten Beispiele sowie auch die übrigen Untersuchungsergebnisse für das Projektgebiet erhebliche Flächenanteile mit erhöhten Kontaminationsrisiken, also einer erhöhten Konfliktintensität aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzungen und der stark verbesserungsbedürftigen Infrastruktur bezüglich der Abwasserbeseitigung.

Die Ermittlung solcher Konflikte ist der Ausgangspunkt für die Ableitung von Maßnahmen, wie zum Beispiel die Ausweisung von Wasserschutzgebieten, der Bau von Abwasserbeseitigungsanlagen usw. Dabei werden auch die weiteren Kontaminationspfade berücksichtigt.

Dies soll in weiteren Arbeitsschritten für die aufgrund ihrer Konfliktintensität als prioritär eingestuften WMUs in einem detaillierteren Maßstab erfolgen.

LITERATUR

- [1] ALLER, L. ET AL, DRASTIC, a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, U.S. EPA Report 600/2-85/018 (1987)

- [2] DGMV (Department of Geology and Minerals of Vietnam), Geology and Mineral Resources Map of Vietnam, Scale 1 : 200 000, Hanoi, 1999

- [3] CEVIWRPI (Central Vietnam Division of Water Resources Planning and Investigation), Data of drilled wells, Nha Trang, 2008

- [4] DGMV (Department of Geology and Minerals of Vietnam), Soil Map of Vietnam Scale 1 : 100 000, Hanoi, 2007

- [5] LANUV NRW (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW), Hydrogeologische Karte 1 : 25 000 (HyK 25)
<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/hydkart.htm> (Stand 02.01.2010)

- [6] B. J. COSBY ET AL., A statistical exploration of relationships of soil moisture characteristics to physical properties of soil, Water Resources Research, Volume 20, Issue 6, S. 682-690 (1984)

- [7] MoNRE (Ministry of Natural Resources and Environment), Department of Water Resources Management (DWRM), Data of UNICEF wells, Hanoi, 2008

- [8] T. T. DAN ET AL., Project Report Area-wide integration (AWI) of specialized crop and livestock activities in Vietnam, HCMC, 2003

- [9] ASIAN VEGETABLE RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER, The Vegetable Sector in Indochina Countries: Farm and household perspectives on poverty alleviation, Technical Bulletin No. 27 (2000)

- [10] VIDAGIS CO. LTD, Landuse map and Settlement Points, Hanoi, 2008

- [11] IPCS International Program on chemical safety, <http://www.inchem.org/> (Stand 23.12.2009)