



F07 ENDABGABE

IDENTIFIZIERUNG GEEIGNETER FLÄCHEN FÜR
**HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN
& VERSIEGELUNGSVERBOTSZONEN**

EINE GIS-BASIERTE ANALYSE IM AHRTAL

IDENTIFIZIERUNG GEEIGNETER FLÄCHEN FÜR HOCHWASSERRÜCKHALTEBECKEN UND VERSIEGELUNGSVERBOTSZONEN

Eine GIS-basierte Analyse im Ahrtal

Fortgeschrittenenprojekt 07

Fakultät Raumplanung an der Technischen Universität Dortmund

Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung

Eingereicht am: 01.08.2022

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. habil. Nguyen Xuan Thinh, M. Sc. Mathias Schaefer

Beratung: M. Sc. Philip Marcello Kruse

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichert die Projektgruppe, dass es sich bei dem vorliegenden Bericht um eine vollständige eigene Originalarbeit handelt. Alle verwendeten Quellen sind kenntlich gemacht worden und an der Stelle, an der sie verwendet wurden, ordnungsgemäß angegeben. Der Gruppe sind die Regelungen der TU Dortmund zum Thema Plagiat bekannt.

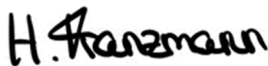
Unterschriften der Studierenden:



Johanna Eickelmann



Sofie Engels



Hannah Franzmann



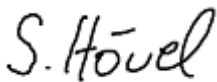
Noemi Yong-Mi Gayko



Alaa Hijazi



Robin Lukas Hölzner



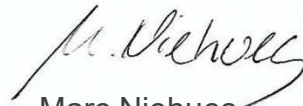
Simon Hövel



Maja Sophie Kneilmann



Tim Knipper



Marc Niehues



Oskar Paßlick



Sabrina Pilarczyk



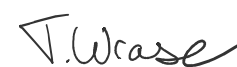
Mira Schlott



Melanie Schmidt



Theo Schultze-Schlutius



Till Stefan Wrase

Datum der Einreichung: 01.08.2022

Danksagung

An dieser Stelle möchten sich alle Projektmitglieder bei denjenigen bedanken, die zum erfolgreichen Abschluss und Gelingen dieser Projektarbeit beigetragen haben.

Insbesondere gilt der Dank Univ.-Prof. Dr. habil. Nguyen Xuan Thinh für die fachliche Betreuung des Studienvorhabens, die große Unterstützung in jeden Bereichen des Projektes, sowie die Bereitstellung von Geodaten und Literatur.

In diesem Zusammenhang bedankt sich die Projektgruppe auch bei Mathias Schaefer für die Betreuung des Projektes sowie seine Hilfsbereitschaft und Unterstützung in der Forschung. Bei Problemen und Fragen konnte sich die Projektgruppe während des gesamten Betreuungszeitraums an ihn wenden und auf kritische wie hilfreiche Anregungen verlassen.

Außerdem spricht die Projektgruppe Philip Marcello Kruse ihren Dank aus, für die fachliche Unterstützung bei der Starkregenanalyse und die konstruktive Kritik während der Projektzeit.

Darüber hinaus möchte sich die Forschungsgruppe ausdrücklich bei der RWTÜV-Stiftung für die Kooperation und Förderung bedanken. Durch die finanzielle Unterstützung konnte die Feldforschung im Ahrtal realisiert und durchgeführt werden.

Zudem gilt der Dank denjenigen Personen, welche aufgrund ihrer Expertise in den Bereichen Hochwasservorsorge, Hochwasserrisikomanagement sowie Wasserwirtschaft, Zeit und Bereitschaft aufgebracht haben und damit die Forschung des Projektes bereicherten.

Zuletzt dankt die Projektgruppe Uwe Grützner und Ivo Fuentes Rheinen für die technische Unterstützung im Bereich der Drohnenbefliegungen während der Feldforschung im Ahrtal.

Abstract

The severe flood disaster in July 2021 clarifies that protection against floods and heavy rainfall must be improved in the affected regions of the Ahrtal. The aim of the paper is to identify potential locations for retention basins and sealing prohibited zones at regional level with the help of a multi-criteria assessment methodology. By increasing the water storage capacities in the landscape and reducing new sealing in flood-prone areas, the damage in the affected regions of the Ahrtal could be minimised during future heavy rainfall events. In order to find a transparent and comprehensible compromise out of the various concerns to be taken into account in the designation of *sealing prohibited zones* and flood retention basins, the methodology used is founded on indicator-based analyses with geographical information systems (GIS) and a mathematical optimisation using Compromise Programming (CP). The weighting of the individual selected criteria and indicators is implemented on findings from field research in March 2022 and on the judgement of experts using the weighting method Analytic Hierarchy Process (AHP). Over the course of field research, the resulting areas were confirmed several times. A total of twelve sites for flood retention basins were identified, covering a total area of 150 ha, as well as eight sealing prohibited zones covering an area of 57.78 ha. The discussion of the analysis results and the resulting areas serve as a potential basis for consideration in the improvement of flood prevention for the authorities responsible in the study area. In addition, the developed assessment methodology provides a reproducible basis for the site location of potential retention basins and further sealing prohibited zones in other regions.

Zusammenfassung

Die folgenschwere Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 verdeutlicht die Notwendigkeit zur Verbesserung der Hochwasser- und Überflutungsvorsorge in den betroffenen Regionen des Ahrtals. Ziel der Arbeit ist es, einen methodischen Ansatz zur Suche potentieller Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen, unter Verwendung einer multikriteriellen Bewertungsmethodik auf regionaler Maßstabsebene, zu identifizieren. Durch eine Erhöhung der Wasserspeicherkapazitäten in der Landschaft und eine Reduzierung der weiteren Versiegelung in hochwassergefährdeten Bereichen, sollen bei zukünftigen Starkregenereignissen die Schäden in den betroffenen Regionen des Ahrtals minimiert werden. Die angewandte Methodik stützt sich auf kriterien- und indikatorenbasierte Analysen mit einem Geoinformationssystem (GIS) und einer mathematischen Optimierung mittels Compromise Programming (CP). Dies dient der transparenten und nachvollziehbaren Kompromisslösung verschiedener Belange, zur Verortung der Versiegelungsverbotzonen und Hochwasserrückhaltebecken. Die Gewichtungen der einzelnen gewählten Kriterien und Indikatoren basieren auf Erkenntnissen einer Feldforschung im März 2022 und auf dem Fachwissen von Expert:innen unter Verwendung der Gewichtungsmethode Analytic Hierarchy Process (AHP). Im Zuge der Feldforschung konnten die ermittelten Flächen überprüft sowie bestätigt werden. Insgesamt konnten zwölf Standorte für Hochwasserrückhaltebecken, welche insgesamt eine Fläche von 150 ha aufweisen, sowie acht potentielle Versiegelungsverbotzonen mit einer Fläche von 57,78 ha identifiziert werden. Die Diskussion der Analyseergebnisse und der ermittelten Flächen dient als Abwägungsgrundlage bei der Verbesserung der Hochwasservorsorge für die im Untersuchungsraum zuständigen Behörden. Des Weiteren stellt die konzipierte Bewertungsmethodik eine reproduzierbare Grundlage für die Standortsuche der gewählten Hochwasser- und Starkregenvorsorgemaßnahmen in anderen Regionen dar.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Versicherung.....	i
Danksagung	iii
Abstract	iv
Zusammenfassung.....	v
1. Einleitung	1
2. Grundlagen des Hochwasserrisikomanagements und Überflutungsvorsorge ...	3
3. Geodaten und Untersuchungsraum	7
4. Methodisches Vorgehen	11
4.1 Multikriterielle Bewertungsmethoden	12
4.1.1 Compromise Programming.....	13
4.1.2 Analytic Hierarchy Process.....	15
4.1.3 Feldforschung.....	19
4.2 Starkregenanalyse	20
4.3 Kriterien- und Indikatorenwahl	20
4.3.1 Kriterien- und Indikatorensystem Hochwasserrückhaltebecken	21
4.3.2 Kriterien- und Indikatorensystem Versiegelungsverbotzonen.....	26
4.4 Gewichtung der Kriterien, Indikatoren und Teilziele	27
4.4.1 Gewichtung des Bewertungssystems Hochwasserrückhaltebecken	28
4.4.2 Gewichtung des Bewertungssystems Versiegelungsverbotzonen.....	30
5. Ergebnisse	32
5.1 Oberziel-Analyseergebnisse der multikriteriellen Bewertung	33
5.2 Verteilung der Eignungswerte im Untersuchungsraum	35
5.3 Auswahl geeigneter Potentialstandorte	37
5.3.1 Versiegelungsverbotzonen	39
5.3.2 Hochwasserrückhaltebecken.....	41
5.5 Starkregenanalyse	44
6. Diskussion.....	46
7. Fazit und Ausblick	48
Literatur	51
Anhang.....	I

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Hochwasserrisikomanagementzyklus	4
Abb. 2: Überblick über den gewählten Untersuchungsraum	8
Abb. 3: Arbeitsschritte der Forschung	11
Abb. 4: Schema der GIS-basierten CP-Methode am Beispiel der Versiegelungsverbotzonen	14
Abb. 5: A-Matrix der Teilziele	17
Abb. 6: Hierarchische Strukturierung des Oberziels Flächen für Hochwasser- rückhaltebecken inkl. Gewichtungen	28
Abb. 7: Hierarchische Strukturierung des Oberziels Versiegelungsverbotzonen inkl. Gewichtungen	30
Abb. 8: CP2-Berechnung des Oberziels Hochwasserrückhaltebecken	33
Abb. 9: CP2-Berechnung des Oberziels Versiegelungsverbotzonen	34
Abb. 10: Verteilung der Eignungswerte	36
Abb. 11: Rahmenplan Hochwasser- und Überflutungsvorsorge im Ahrtal	38
Abb. 12: Beispielfläche Versiegelungsverbot - Altenburg (V-04)	41
Abb. 13: Beispielfläche für Hochwasserrückhaltebecken - Leimbach Süd (H-12) ...	43
Abb. 14: Vergleich der Starkregenanalyse mit/ ohne Hochwasserrückhaltebecken	44

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Verwendete Geodaten	7
Tab. 2: 9-Punkte-Skala nach Saaty für den paarweisen Vergleich	16
Tab. 3: RI-Wertetabelle	18
Tab. 4: Überblick über das angewandte Kriterien- und Indikatorensystem zur Suche nach Standorten für Hochwasserrückhaltebecken	22
Tab. 5: Überblick über das angewandte Kriterien- und Indikatorensystem zur Suche nach Zonen für ein Versiegelungsverbot	26
Tab. 6: Geeignete Flächen für ein Versiegelungsverbot	39
Tab. 7: Geeignete Flächen für Hochwasserrückhaltebecken	41

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytic Hierarchy Process
ATKIS	Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CP	Compromise Programming
CP1	Compromise Programming bei Kompensation nach City Block Norm ($p=1$)
CP2	Compromise Programming bei Kompensation nach Euklidischer Norm ($p=2$)
CP10	Compromise Programming bei Kompensation nach Maximum Norm ($p=10$)
DGM25	Digitales Geländemodell 25
DLM50	Digitales Landschaftsmodell 50
DOP	Digitale Orthophotos
DWD	Deutscher Wetterdienst
EU	Europäische Union
FFH	Flora-Fauna-Habitat
GIS	Geoinformationssysteme
HWRM	Hochwasserrisikomanagement
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung
LWG RLP	Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz
MCDA	Multi-Criteria-Decision-Analysis
UMK	Umweltministerkonferenz
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VG250	Verwaltungsgrenzen 250
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

1. Einleitung

Im Juli 2021 ereignete sich in Deutschland aufgrund von mehrtägigem Starkregen eine schwerwiegende Hochwasserkatastrophe mit verheerenden Folgen. Das Ahrtal im Bundesland Rheinland-Pfalz war besonders betroffen, 136 Tote wurden geborgen, 717 Gebäude wurden zerstört und mindestens 120,9 km der Verkehrsinfrastruktur wiesen Beschädigungen auf (Copernicus Emergency Management Service 2021). Hochwasserkatastrophen sind ein wiederkehrendes Problem im Ahrtal. Im Jahr 1804 und 1910 ereigneten sich Hochwasserereignisse mit vergleichbaren Dimensionen. Auch im Jahr 2016 trat im Landkreis Ahrweiler ein Starkregenereignis auf, welches nationales Aufsehen erweckte. Die wiederkehrenden extremen Hochwasser- und Überflutungsereignisse im Ahrtal zeugen von einem hohen raumplanerischen Handlungsbedarf bezüglich der Hochwasser- und Überflutungsvorsorge. Zusätzlich besteht gem. §81 Abs. 1 LWG RLP eine gesetzliche Verpflichtung zur Gewährleistung eines ausreichenden technischen Hochwasserschutzes für hochwassergefährdete Regionen, wie auch das Ahrtal eine ist. Die Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes sind dabei auf einen definierten Bemessungswasserstand (oft HQ_{100}) ausgelegt, bis zu welchem ein planmäßiger Schutz vor Überschwemmungen gewährleistet werden soll. Bisherige Pläne zum Hochwasserschutz wurden nicht realisiert, da wirtschaftliche Interessen, wie bspw. die Errichtung des Nürburgringes im Jahr 1927, überwogen (Schwägerl 2021). In der Vergangenheit war zu beobachten, dass das Bewusstsein für die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen mit voranschreitender Zeit verblasst. Expert:innen sprechen hier von Hochwasserdemenz (Kailitz 2013). Folglich resultiert die Frage nach neuen und effizienten Lösungsansätzen. Der folgende Beitrag stellt einen Ansatz mithilfe eines GIS-basierten multikriteriellen Bewertungssystems dar, um geeignete Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen auf regionalem Maßstab zu identifizieren. Dies erfolgt unter der Verwendung multikriterieller Bewertungssysteme, die zum Teil divergierende Standortansprüchen berücksichtigen. Hierzu wurde folgende Forschungsfrage formuliert: „Wie kann die Hochwasser- und Überflutungsvorsorge im Ahrtal verbessert werden?“. Die Ergebnisse der Forschung zielen auf die Region des Ahrtals ab, wobei diese auf Grund der Transparenz und der individuellen Anpassbarkeit der gewählten Methodik reproduzierbar auf verschiedene Regionen sind. Für die erforderliche Verbesserung des Hochwasserschutzes ist eine

Erhöhung der Retentionskapazitäten im Einzugsgebiet der Ahr unabdingbar. Die Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken im Wassereinzugsgebiet stellt eine sehr gute Möglichkeit dar, die Wasserspeicherkapazitäten in der Landschaft zu erhöhen (Malcherek 2019: 427). Da Hochwasser und Überflutungen in einem engen Zusammenhang stehen, ist ein weiteres Anliegen dieser Forschung, einen Beitrag zur Verbesserung der Überflutungsvorsorge zu leisten. Dabei ist zentral, dass besonders dicht besiedelte und stark versiegelte Bereiche Entstehungsgebiete von Starkregen bedingten Überflutungen sind (Emde/Deutschländer/Paulat et al. 2018: 19). Die Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen soll verhindern, dass der aktuelle Zustand der betroffenen Gebiete hinsichtlich der Retention durch eine weitere Versiegelung, die zu einer Reduzierung der Infiltrationskapazität führt, verschlechtert wird. Das Forschungsziel besteht darin, geeignete Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen zu identifizieren und gliedert sich in die folgenden zwei Unterfragen auf:

„Anhand welcher Kriterien und Indikatoren lässt sich die Eignung von Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen bewerten?“

“Welche Flächen eignen sich für die Maßnahmen Versiegelungsverbotzonen und Hochwasserrückhaltebecken?“

Um die Forschungsfragen adäquat zu beantworten, werden im Folgenden zunächst die allgemeinen Grundlagen des Hochwasserrisikomanagements und der Überflutungsvorsorge erläutert. Anschließend erfolgt im Kapitel 3 ein Überblick über den Untersuchungsraum und die verwendeten Geodaten. In Kapitel 4 wird das methodische Vorgehen zur Identifizierung geeigneter Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen beschrieben und im darauffolgenden Kapitel werden die Ergebnisse dargestellt. Um die geleistete Forschungsarbeit zu hinterfragen und mögliche Stärken und Schwächen zu finden, werden die Ergebnisse in Kapitel 6 kritisch diskutiert. Die Forschungsarbeit endet mit einem Fazit und Ausblick, in dem die Ergebnisse beurteilt und mögliche anknüpfende Schritte dargelegt werden.

2. Grundlagen des Hochwasserrisikomanagements und der Überflutungsvorsorge

Hochwasser ist nach dem §72 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) eine zeitlich beschränkte Überschwemmung von normalerweise nicht mit Wasser bedecktem Land, insbesondere durch oberirdische Gewässer oder durch in Küstengebiete eindringendes Meerwasser. Die Überflutungsvorsorge ist hingegen nicht im WHG verankert und gehört stattdessen zur Abwasserbeseitigung bzw. zur Niederschlagswasserbeseitigung. Gem. §54 Abs. 1 Nr. 1 - 2 WHG ist Abwasser nicht nur Schmutzwasser, sondern auch das nach Niederschlägen von befestigten Flächen abfließende Wasser. Die Zielvorstellung Überschwemmungen und somit Schäden abzuwenden ist bei der Überflutungsvorsorge ähnlich zur Hochwasservorsorge bzw. zum Hochwasserrisikomanagement.

Erfahrungen aus Extremwetterereignissen haben gezeigt, dass ein vollständiger Schutz gegenüber extremen Hochwasser- und Überflutungsereignissen nicht realisierbar ist und nur eine ganzheitliche Betrachtung des Hochwasserrisikomanagements bzw. des Hochwasserrisikomanagementzyklusses (s. Abb. 1) und interdisziplinäres Handeln zu einer Minimierung der Hochwasserschäden führt (Müller 2010: 7). Das Hochwasserrisikomanagement basiert auf der systematischen Erfassung, Analyse und Bewertung von Risiken und den daraus abzuleitenden Aktivitäten zur Risikosteuerung. Dieses Konzept des integrierten Hochwasserrisikomanagements bezieht die drei zeitlichen Phasen - vor, während und nach einem Hochwasserereignis - mit ein, wodurch ein Risikobewusstsein geschaffen und eine größtmögliche Vermeidung, Verminderung und Begrenzung des Hochwasserrisikos erreicht werden kann (Müller 2010: 11).

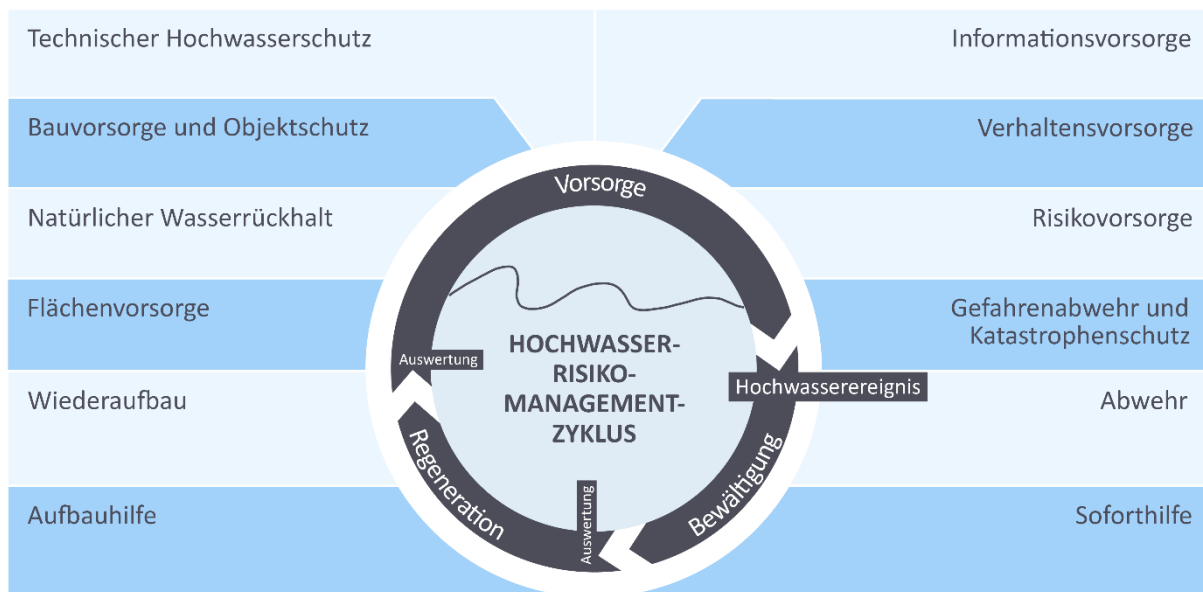


Abb. 1: Hochwasserrisikomanagementzyklus (eigene Darstellung nach Webler)

Die erste Phase nach Abb. 1 ist die Hochwasserbewältigung während eines Hochwasserereignisses. Diese dient der Begrenzung des Ausmaßes und der Dauer der Hochwasserkatastrophe. Die zweite Phase beinhaltet die Hochwassernachsorge und Regeneration. Diese dient der Wiederherstellung aller Voraussetzungen für den normalen Alltagsbetrieb und impliziert die Analyse des Ereignisses und einen nachhaltigen Wiederaufbau (Müller 2010: 10). Die dritte Phase des Hochwasserrisikomanagements ist die Vorbeugung von Hochwasserereignissen, welche zur Verminderung der Vulnerabilität von Infrastrukturen und Gebäuden gegenüber Hochwasserereignissen dient. Dazu gehört zum einen die Prävention, wie etwa angepasste Raumnutzung, raumplanerische Maßnahmen, natürlicher Hochwasserschutz, technischer Hochwasserschutz sowie Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten. Zudem gehört zur Vorbeugung des Hochwasserrisikomanagements auch die Vorsorge, worunter die Risikovorsorge, die Verhaltensvorsorge und Vorbereitung des Katastrophenschutzes, die Informationsvorsorge und die Hochwasserrisikomanagementpläne fallen.

All diese Faktoren und Maßnahmen führen zu einem erfolgreichen Hochwasserrisikomanagement. Für die Forschungsarbeit ist die dritte Phase des Hochwasserrisikokreislaufes mit der Flächenvorsorge, dem natürlichen sowie dem technischen Hochwasserschutz relevant. Die Maßnahmen dieser Aspekte können zur Verbesserung des Wasserrückhaltes, der Retention, beitragen. Die Retention ist ein

2. Grundlagen des Hochwasserrisikomanagements und der Überflutungsvorsorge

Prozess in einem Flussabschnitt, bei dem durch natürliche Gegebenheiten oder künstliche Maßnahmen ein Teil des Zuflusses kurzfristig oder langfristig im Gewässernetz und den Gewässerauen zurückgehalten wird (Haider 1994: 22). Die Retentionswirkung ist am höchsten in der zweiten Phase von den drei Phasen der Retention. Zwar überschreitet in dieser Phase der Zufluss an Wasser die Kapazität des Ausflusses bspw. einer Überschwemmungsfläche, jedoch wird das Speichervolumen der Fläche nicht überstiegen, da der gesamte Ausfluss auch bei steigendem Zufluss nur wenig zunimmt (Haider 2014: 59).

Um die höchste Retentionswirkung zu erreichen und den Wasserrückhalt zu verbessern, gibt es verschiedene Maßnahmen, wie z.B. Hochwasserrückhaltebecken, welche im Fokus dieser Forschungsarbeit stehen. Hochwasserrückhaltebecken sind dem technischen Hochwasserschutz zuzuordnen (Müller 2010: 72). Diese sind zumeist von einem Deich umgebene Stauanlagen, welche zur Regulierung der Abflussmenge bei Hochwasser dienen können und somit den Wasserrückhalt eines Gewässers verbessern (Prominski/Stokman/Stimberg et al. 2012: 94). Ein Hochwasserrückhaltebecken kann entweder im Hauptschluss angelegt werden, sodass das Gewässer durchfließt oder neben dem Gewässer bspw. in Form eines Flutpolders (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2022). Bei einem extremen Hochwasserereignis kann in einem gesteuerten Flutpolder gezielt Wasser eingeleitet werden und nach dem Durchlaufen des Hochwasserscheitels das zurückgehaltene Wasser wieder abgeleitet werden (Malcherek 2019: 427). Die gesteuerten Rückhaltebecken haben aufgrund dessen eine deutlich höhere Effektivität bei Extremereignissen als ungesteuerte Rückhaltebecken.

Die extrem hohen und anhaltenden Niederschlagssummen im Ahrtal führten einerseits zu einem Hochwasser der Ahr und andererseits zu Überflutungen in den Siedlungsgebieten, welche durch das teils tief eingeschnittene Flusstal und den erhöhten Oberflächenabfluss verstärkt wurden (Schäfer/Mühr/Daniell et al. 2021). Aufgrund dessen nimmt neben dem Hochwasserschutz auch der Überflutungsschutz eine immer wichtigere Rolle ein, um besonders zukünftige Starkregenereignisse zu bewältigen und um die zunehmende Kombination der Gefahren aus Hochwasser und Überflutung wirksam zu bekämpfen (Illgen 2017: 20).

In der 86. Umweltministerkonferenz (UMK) wurde beschlossen, dass eine Starkregenrisikomanagementstrategie in Anlehnung an die HWRM-RL durch die

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser zu entwickeln ist (UMK 2016: 64). Erkenntnisse und Leitlinien aus dem Hochwasserrisikomanagement sind hierbei grundlegend. Dabei sollen Fragen der Verbesserung von Vorhersage- und Frühwarnsystemen, der Risikobewertung und -kommunikation, der Aufklärung der Bevölkerung und Verhaltensweisen im Krisenfall sowie Aspekte der vorsorgenden Raum- und Flächennutzung und der Stadtplanung berücksichtigt werden (UMK 2016: 64).

Im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements in Rheinland-Pfalz gründete sich die „Hochwasserpartnerschaft Ahr“ mit dem Ziel einen überörtlichen Austausch zu schaffen und ein überörtliches, mehrteiliges Hochwasservorsorgekonzept zu erarbeiten (Kreisverwaltung Ahrweiler 2021). Die Kreisverwaltung Ahrweiler schrieb parallel dazu ein Gewässerwiederherstellungskonzept aus, bei welchem die hochwasserangepasste Gewässerentwicklung das Hauptziel ist (Ministerium des Innern und für Sport des Landes Rheinland-Pfalz 2021). Zuständig für die Umsetzung der Maßnahmen sind im weiteren Verlauf die Kommunen. Neben diesen Konzepten wies die Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord nach dem Extremwetterereignis neue Überschwemmungsgebiete aus. Zudem erstellte die Verbandsgemeinde Altenahr als Reaktion auf das Extremwetterereignis 2016 ein Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzept für die Ortsgemeinden, welches allerdings nur auf der Ebene der Maßnahmenfindung beruht und bislang keine umgesetzten Planung erbrachte.

Es zeigt sich, dass nicht ausreichende Hochwasser- und Überflutungsschutzmaßnahmen im Ahrtal bestehen und die beiderseitige Betrachtung des Hochwasser- und Überflutungsschutzes unabdingbar ist. Als etablierte Instrumente der Raum- und Umweltplanung können multikriterielle Bewertungsverfahren, gekoppelt mit einem Geoinformationssystem (GIS), und fernerkundungsbasierte Satellitenbilddauswertungen dabei helfen, landschaftliche Veränderungsprozesse und räumliche Beziehungen zu analysieren und in diesem Zusammenhang geeignete Flächen für die Hochwasser- und Starkregenvorsorge auszuweisen (Vogel 2010: 135).

3. Geodaten und Untersuchungsraum

Die Voraussetzung, um eine Hochwasser- und Überflutungsanalyse durchführen und entsprechend das gefährdete Gebiet einschätzen zu können, bilden umfangreiche Geodaten, welche für die Aufstellung einer multikriteriellen Bewertung benötigt werden. Bezugsquellen sind Geodatenbanken des Bundes, des Landes Rheinland-Pfalz und der online-Geofabrik. Die Forschung stützt sich insbesondere auf die Nutzung amtlicher und frei verfügbaren Daten, um eine Reproduzierbarkeit auf andere Regionen gewährleisten zu können. Wie Tabelle 1 entnommen werden kann, wird zwischen Geobasisdaten und Geofachdaten unterschieden.

Tab. 1: Verwendete Geodaten (eigene Darstellung)

Geobasisdaten				
Format	Beschreibung	Auflösung	Quelle	Jahr
Raster	Digitale Orthophotos (DOP)	40 x 40cm	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformationen (LVerGeo)	2021
	ATKIS - Digitales Geländemodell (DGM25)	25 x 25m	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformationen (LVerGeo)	2018
Vektor	Verwaltungsgrenzen (VG250)	1:250.000	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)	2019
	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell (DLM50)	1:50.000	Landesamt für Vermessung und Geobasisinformationen (LVerGeo)	2018
	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell (DLM50)	1:50.000	Bezirksregierung Köln (Geobasis NRW)	2022
	OpenStreetMap Rheinland-Pfalz (OSM)	Parzellgröße	Geofabrik GmbH	2021

Geofachdaten				
Format	Beschreibung	Auflösung	Quelle	Jahr
Raster	ESA-Monitoring [EMSR517]	1:15.000	Copernicus der Europäischen Union	2021
Vektor	Bodenflächendaten (BFD200)	1:200.000	Landesamt für Geologie und Bergbau RLP (LGB)	2016
	Heilquellen-, Wasserschutzgebiete	1:1.000	Geoportal.rlp MKUEM	o.J.
	Landschafts-, Natur-, Vogel-, FFH-Schutzgebiete	1:1.000	Landschaftsinformationssystem Naturschutzverwaltung RLP (LANIS)	2017
	Überschwemmungsgebiete (§ 76 Abs. 3 WHG)	Parzellgröße	Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord RLP (SGD Nord)	2021

Zu den zentralen Daten für die weitere Forschung zählt unter anderem das amtliche Topographische-Kartographische Informationssystem (ATKIS), welches die Topographie und Landschaft auf einer geotopographischen Datenbasis beschreibt. Es besteht aus dem digitalen Geländemodell (DGM), dem digitalen Landschaftsmodell (DLM) und digitalen Orthophotos. Die Raster-Daten des „Digitalen Geländemodells 25 (DGM25)“ weisen eine Rastergröße von 25x25 m auf. Da dies die größte Rastergröße ist, welche für die Rasterdaten gestützte Berechnung als Datengrundlage zur Verfügung steht, dient diese als Rasterzellengröße der Analysen dieser Forschungsarbeit. Das DGM25 stellt Höhenprofil im Untersuchungsraum dar und ist Grundlage für die Untersuchung der Topographie und weiterer darauf aufbauende Analysen. Das „Digitale Landschaftsmodell 50 (DLM50)“ gibt hingegen Auskunft über die im Untersuchungsraum vorliegenden Flächennutzungen.

Neben den vorgestellten amtlichen Datensätzen werden auch online und frei verfügbare Open-Street-Map-Daten genutzt, um weitere Informationen über die Beschaffenheit des Untersuchungsraums zu erhalten. Als weitere Datenquelle dient das satellitengestützte Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union „Copernicus“. Mithilfe der Fernerkundung konnte somit ein „betroffenes Gebiet“ identifiziert und die Schäden nach dem Extremwetterereignis im Ahrtal räumlich verortet werden. Dies beinhaltet Informationen zum Zerstörungsgrad einzelner Gebäude sowie digitale Orthophotos (DOP).

Dieses „betroffene Gebiet“, welches die Bereiche und Siedlungen umfasst, die den größten Schäden ausgesetzt waren, bildet die Grundlage für die Wahl des Untersuchungsraumes (s. Abb. 2) (Copernicus Emergency Management Service 2021). Der Untersuchungsraum befindet sich im Norden des Bundeslandes Rheinland-Pfalz im Landkreis Ahrweiler, welcher im Norden an Nordrhein-Westfalen grenzt und östlich vom Rhein abgegrenzt wird.

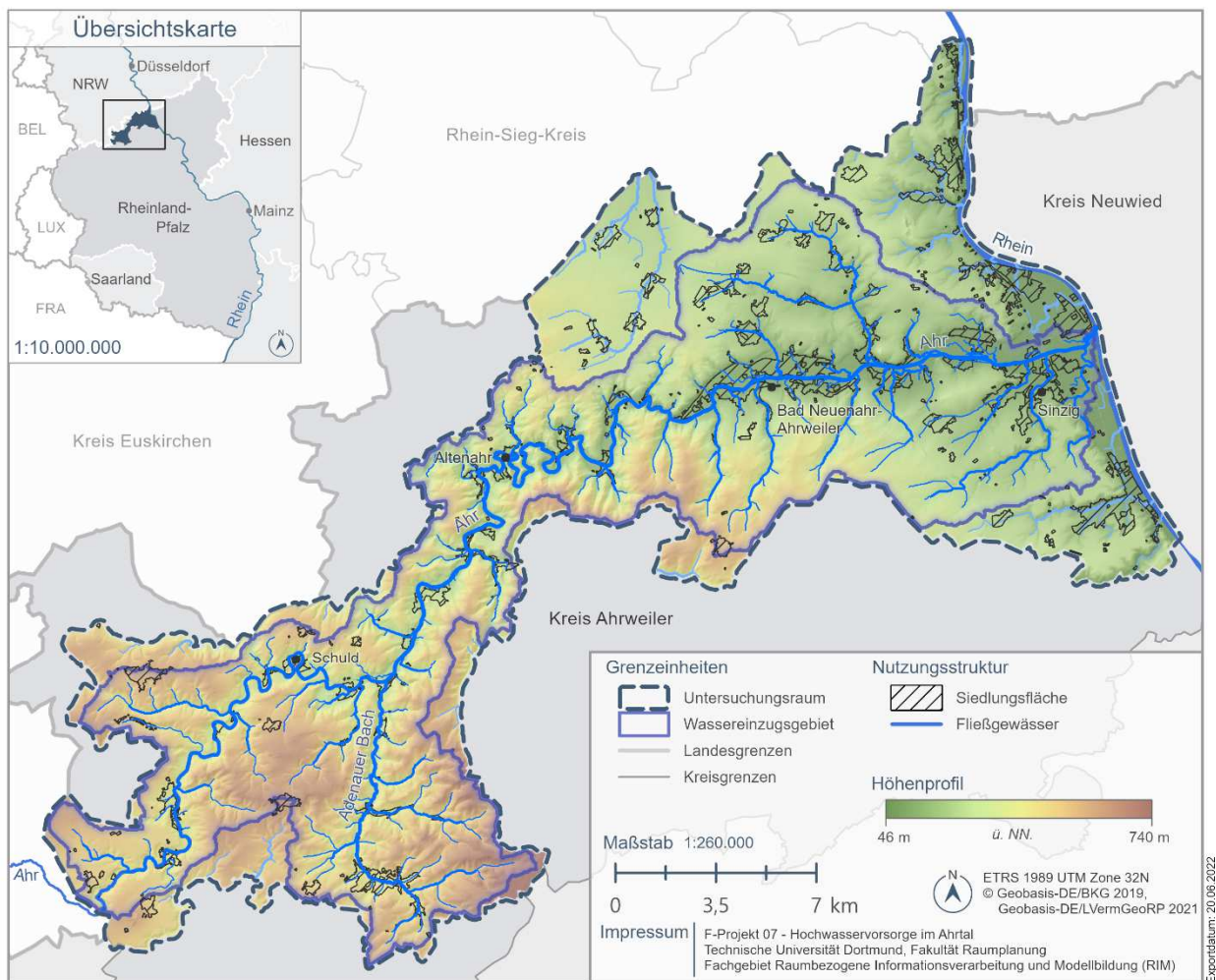


Abb. 2: Überblick über den gewählten Untersuchungsraum (eigene Darstellung)

Aufbauend auf dem „betroffenen Gebiet“ wurde das Wassereinzugsgebiet der Ahr mit einer GIS - gestützten Analyse ermittelt. Die finale Abgrenzung des Untersuchungsraums erfolgte, indem alle Verwaltungsgrenzen der im Wassereinzugsgebiet liegenden Gemeinden zusammengefasst wurden. Der Untersuchungsraum gliedert sich somit in fünf Städte und 24 Ortsgemeinden auf, die in vier Verbandsgemeinden unterteilt sind. Insgesamt beträgt die Fläche ca. 400 km² (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2022). Der Untersuchungsraum ist abgesehen von Siedlungsfläche, die ca. 8% des Gebiets einnimmt, hauptsächlich von Wald- und Landwirtschaftsflächen geprägt. Zur prägenden Infrastruktur zählen die Autobahn A61 im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets, sowie Eisenbahnschienen, die den Fluss entlang verlaufen. Die topographische Höhenlage des Untersuchungsraums liegt zwischen 46 m und 741 m ü. NN und fällt von Südwesten bis Nordosten sehr stark. Im Südosten bestehen zum Teil steile Gefälle, welche zu Tallagen einiger Gemeinden führen. Kombiniert mit der direkten Flussnähe, stellt dies eine besondere Überflutungsgefahr dar. Insgesamt umfasst das Wassereinzugsgebiet der Ahr eine Größe von 286 km² und erstreckt sich über ca. 70% des Untersuchungsraums. Im Südwesten schlägt die Ahr über weite Strecken Flussschlingen und starke Kurven, in Rheinnähe befinden sich hingegen längere gerade Verläufe (s. Abb. 2).

4. Methodisches Vorgehen

Das Vorgehen der Forschungsarbeit setzte sich aus vier Phasen zusammen, die in Abb. 1 visualisiert sind.

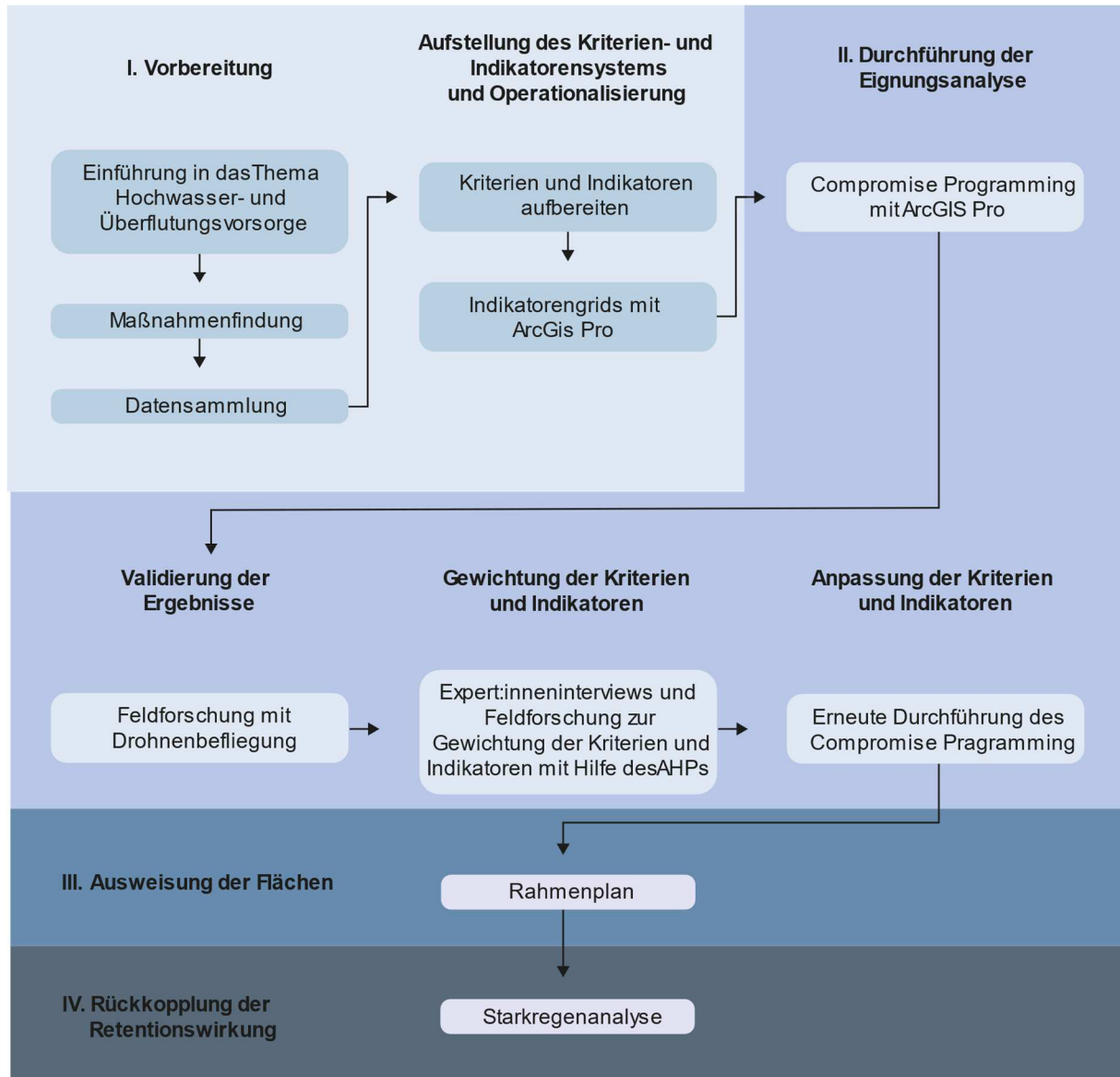


Abb. 3: Arbeitsschritte der Forschung (eigene Darstellung)

In der Vorbereitungsphase konnten im Zuge einer ausführlichen Literaturrecherche zwei Maßnahmen, die Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen, definiert werden. Darauf aufbauend wurden in der nächsten Phase die Kriterien- und Indikatorensysteme erstellt und somit die erste Unterforschungsfrage beantwortet. Dabei wurden anhand der bisherigen Ergebnisse und weiterer Literaturrecherche zunächst für die im Rahmen der Forschung bestimmten Teilziele inkl. einer Auswahl an Kriterien zur Bewertung der Eignung

getroffen. Darauffolgend wurden Indikatoren definiert, welche der Quantifizierung und Operationalisierung der Kriterien dienen. Im Anschluss wurden die ausgewählten Indikatoren in Klassen eingeteilt und ihnen spezifisch Grenzwerte zugewiesen, welche die Eignung der jeweiligen Indikatoren quantifizieren. Mithilfe der, mittels Literaturrecherche und Feldforschung bestimmten Grenzwerte, wurden die Ergebnisse der Forschung mit einem Eignungswert in ihrem jeweiligen Indikator eingestuft und normalisiert, um die Vergleichbarkeit untereinander zu gewährleisten. Aufbauend auf den Kriterien- und Indikatorensystemen wurde eine Eignungsanalyse für potentielle Standorte von Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen anhand des mathematischen Optimierungsprozesses Compromise Programming (CP) im Untersuchungsraum durchgeführt. Daraufhin erfolgte eine Auswahl der Flächen basierend auf den Ergebnissen der Eignungsanalyse, welche bei der anschließenden Feldforschung betrachtet wurden. Diese Methode ermöglichte es, im Kontext der Hochwasser- und Überflutungsvorsorge, mehrere Komponenten respektive Entscheidungskriterien zeiteffizient zu berücksichtigen, um geeignete Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen zu erschließen. Da nicht jedes Kriterium und jeder Indikator gleich bedeutsam für die Standortermittlung ist, wurde eine Gewichtung der normalisierten Indikatoren mithilfe der Gewichtungsmethode Analytic Hierarchy Process (AHP) anhand von Expert:inneninterviews sowie den Erkenntnissen aus der Feldforschung vorgenommen. Nach den Eignungsanalysen konnte die zweite Forschungsunterfrage beantwortet werden. Die Ausweisung der Fläche erfolgte mit einer Rückkopplung der Retentionswirkung anhand der eigens durchgeführten Starkregenanalyse. Der Rahmenplan, welcher die ausgewählten Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen darstellt, finalisiert die Forschungsarbeit.

4.1 Multikriterielle Bewertungsmethoden

Die Auswahl von Standorten für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen erfolgte mittels einer transparenten Methode, welche auf ausgewählten Kriterien und Indikatoren beruht, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Da ein Standort über unterschiedliche Nutzungsansprüche verfügt und die geographischen Qualitäten des Raumes variieren können, ist die Ideallösung einer Mehrzieloptimierungsaufgabe angesichts der konkurrierenden Ziele nicht erreichbar (Thinh 2005: 120-122). Dies setzt voraus, dass

eine strukturierte Problemdefinition erstellt und zwischen verschiedenen Lösungen differenziert wird, um die bevorzugten Alternativen zu identifizieren. Mit dem Einsatz einer multikriteriellen Bewertungsmethodik - Multi-Criteria-Decision-Analysis (MCDA) - kann eine Kompromisslösung erzielt werden. Dabei werden Alternativen anhand von quantitativ messbaren Indikatoren bewertet. Die endgültige Auswahl der Möglichkeiten richtet sich nach dem Grad der Eignungserfüllung, welcher angibt, inwieweit die Ausprägungen eines bestimmten Indikators mit dem Hauptziel übereinstimmen (Malczewski 2004). Zu den eingesetzten MCDA zählen unter anderem das Compromise Programming (CP) von Milan Zeleny und der Analytic Hierarchy Process (AHP) von Thomas L. Saaty (Zeleny 1976; Saaty 1990).

4.1.1 Compromise Programming

Das Compromise Programming (CP) basiert auf einem mathematischen Konzept und wird mithilfe eines GIS durchgeführt, um die beste Kompromisslösung möglichst nahe an der Ideallösung zu finden (Zeleny 1982). Im Kontext der Planung von Hochwasser- und Überflutungsschutzmaßnahmen sind mehrere Komponenten (s. Kapitel 4.3) zu berücksichtigen, um geeignete Standorte für die ausgewählten Maßnahmen zu ermitteln. Die Methode des CP eignet sich optimal für die Bearbeitung der Forschung, da möglichst schnell geeignete Flächen für den Hochwasser- und Überflutungsschutz evaluiert werden und der Zeit- und Aufwandsfaktor auf das Minimum reduziert wird (Thinh 2005: 119).

Zur Erläuterung der allgemeinen Funktionsweise der GIS-basierten CP-Methode dient die Abb. 2, welche das Kriterien- und Indikatorensystem der Versiegelungsverbotzonen darstellt. Die gewählten Bewertungsindikatoren sind der Versiegelungsgrad, die Hangneigung sowie Überflutungshotspots, welche normalisiert und für die Indikatorengrids erstellt wurden, um so die Bewertungsindikatoren miteinander vergleichen zu können (Nadler/Spieß/Müller 2018: 442-443). Bei der Anwendung der CP-Methode wird vorausgesetzt, dass die Idealwerte und die Anti-Idealwerte normativ bestimmt werden und auch die Auswahl der Gewichte erfolgt (Thinh 2005: 121). Daher erfolgte die Standardisierung auf ein Intervall von null bis eins, wobei die Zahl eins dem Idealwert entspricht und null dem Anti-Idealwert. Zudem wurden die Indikatorengrids gewichtet, da die Indikatoren nicht gleichbedeutend für die Standortermittlung sind. Anschließend wurden die gewichteten Indikatoren kombiniert.

Das Ergebnis des Compromise Programming ist eine rasterbasierte, gewichtete Aufsummierung der Indikatoren.

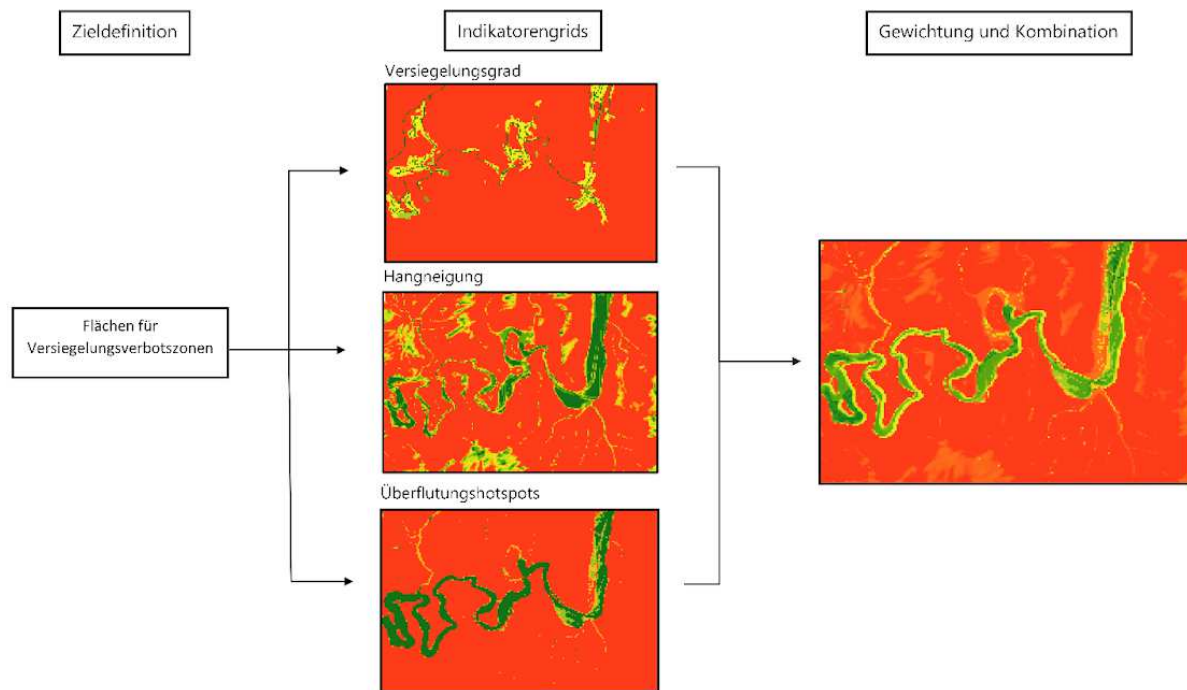


Abb. 4: Schema der GIS-basierten CP-Methode am Beispiel der Versiegelungsverbotzonen (eigene Darstellung)

Das Compromise Programming erfolgt anhand einer Metrik-Norm (L_p) (s. Formel 2). Mit w_j ($w_j > 0$, $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$) werden die vorher ermittelten und individuellen Gewichte der einzelnen Indikatoren beschrieben, wie Formel 1 zu entnehmen ist (Vogel 2010: 31). Vorerst wurden alle Kriterien und Indikatoren gleich gewichtet und anschließend mit Hilfe von Expert:innenwissen angepasst und erneut gewichtet.

$$w_j > 0 \quad (j = 1(1)n)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

Formel 1: Gewichtung des CP

$$L_p(w) = \left(\sum_{j=1}^n w_j^p \left| \frac{z_j^* - z_j}{z_j^* - z_{*j}} \right|^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}}$$

Formel 2: Compromise Programming

$L_p(w)$ = gewichteter Abstand jeder Alternative zum Idealwert z_j^*
 w = Gewichtung des Indikators
 z_j = ermittelter tatsächlicher Eignungswert der Indikatoren
 z_j^* = Idealwert (1), der beste Wert zur Zielerfüllung
 z_j^- = Anti-Idealwert (0), der schlechteste Wert zur Zielerfüllung
 p = natürliche Zahl, welche die Kompensation beeinflusst
 n = Anzahl der Indikatoren
 (Schaefer, Thinh 2019: 8)

Wie in der Formel 2 zu erkennen, wird die Differenz vom Idealwert z_j^* zum Eignungswert des Indikators z_j ermittelt und durch die Differenz vom Idealwert zum Anti-Idealwert dividiert. Diese Abweichung vom Ideal wird im nächsten Schritt durch p kompensiert. Es wird festgelegt, wie sehr die Abweichung ins Gewicht fällt. Dabei ist festzustellen, dass je höher der Exponent p ist, desto stärker fällt die Abweichung vom Ideal ins Gewicht. Die Gewichtung des Indikators wird mittels w bestimmt und die kompensierte Distanz vom Eignungswert zum Idealwert multipliziert. Diese Rechnung wird mit jedem Indikator durchgeführt und anschließend aufsummiert.

Die Resultate werden in der Praxis oft mittels drei Distanzmaßen (Exponent p) kompensiert (Prodanovic 2001: 14; Schanze/Thinh/Walz et al. 2004: 8). Bei $p=1$ (City Block Norm) liegt eine totale Kompensation vor. Dies bedeutet, dass eine größere Abweichung eines Kriteriums vom Idealwert durch andere Kriterien mit höheren Eignungswerten kompensiert werden kann. Bei $p=2$ (Euklidische Norm) kommt es entsprechend zu einer teilweisen Kompensation von größeren Abweichungen. Im Fall $p=10$ als Repräsentant für $p=\infty$ (Maximum-Norm) wird keine Kompensation vorgenommen. Sobald ein Kriterium vom Idealwert abweicht, wird das Kriterium nicht mehr berücksichtigt (Baja/Chapman/Dragovich 2007: 180). Die Euklidische Norm stellt somit einen Kompromiss aus den zwei extremen Kompensationsmaßen - der City-Block und Maximum Norm - dar.

4.1.2 Analytic Hierarchy Process

Zur Ermittlung der Wertigkeit eines Indikators und somit dessen Gewichtung im Rahmen der CP-Methode wurde die von Saaty 1980 entwickelte entscheidungsstützende Methode, auch bekannt als Analytic Hierarchy Process angewandt. Dies ist eine Methode, mit der sich auf einfache, schnelle und verständliche Weise Problemsituationen analysieren sowie Bewertungen und

Entscheidungen vorbereiten lassen (Vogel 2010: 33). Demzufolge dient der AHP als Entscheidungsunterstützung zur Festlegung von Gewichtungen für die einzelnen Elemente der Hierarchieebenen von multikriteriellen Bewertungssystemen (Brinkmeyer/Müller 1996: 82).

Voraussetzung für die Anwendung des AHP ist die hierarchische Strukturierung des Problems. Das Entscheidungsproblem wird durch unterschiedliche Kriterien und Merkmale beeinflusst, die sich wiederum in weitere Subkriterien untergliedern lassen. Durch die Zerlegung des Entscheidungsproblems in Elemente oder Komponenten entstehen verschiedene Hierarchieebenen (ebd.: 82f.).

Auf Grundlage dieser Strukturierung kann die AHP-Methode durchgeführt werden. Die Bewertung der Entscheidungselemente erfolgt, indem jeweils zwei Elemente in einem Zweig einer Hierarchieebene bezüglich ihrer Relevanz für die Erfüllung des unmittelbar übergeordneten Elements verglichen werden. Für die paarweisen Vergleiche stehen neun Skalenwerte zur Verfügung (s. Tab. 2) (ebd.: 84).

Tab. 2: 9-Punkte-Skala nach Saaty für den paarweisen Vergleich (eigene Darstellung)

Skalenwert	Definition
1	gleiche Bedeutung
2	gleiche bis etwas größere Bedeutung
3	etwas größere Bedeutung
4	etwas bis erheblich größere Bedeutung
5	erheblich größere Bedeutung
6	erheblich bis sehr viel größere Bedeutung
7	sehr viel größere Bedeutung
8	sehr viel größere Bedeutung bis absolut dominierend
9	absolut dominierend

Im ersten Schritt der Durchführung der AHP-Methode wird eine quadratische Bewertungsmatrix, auch A-Matrix genannt, aufgestellt. Die Größe der Matrix, bzw. die Anzahl der paarweisen Vergleiche, wird durch die Anzahl der Indikatoren n bestimmt. Die Angaben in der A-Matrix spiegeln den Vergleich zweier Indikatoren anhand der Bewertungsskala wider. Dieser paarweise Vergleich führt zu einem reziproken Phänomen, denn wird einem Indikator gegenüber einem anderen Indikator eine sehr viel größere Bedeutung zugesprochen (Skalenwert 7), erhält der andere Indikator

automatisch den Kehrwert, also einen Wert von 1/7. Die Werte der Hauptdiagonalen nehmen aufgrund des Vergleiches eines Indikators mit sich selbst und entsprechender Gleichheit den Wert 1 an. Die untenstehende Abbildung zeigt eine beispielhafte A-Matrix des paarweisen Vergleichs von Teilzielen (s. Abb. 5).

	Teilziel A	Teilziel B
Teilziel A	1	
Teilziel B		1

Abb. 5: A-Matrix der Teilziele (Abbildung nach Saaty)

Im nächsten Schritt wird die Spaltensumme der A-Matrix ermittelt:

$$\text{Formel 3: } S_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \quad (j = 1(1)n)$$

Im Anschluss werden die Elemente der A-Matrix spaltenweise normiert, woraus sich eine Matrix mit den Elementen

$$\text{Formel 4: } b_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{S_j} \quad (i, j = 1(1)n)$$

ergibt. Daraufhin erfolgt, auf Grundlage der Matrixwerte, die Ermittlung der relativen Gewichte der Indikatoren:

$$\text{Formel 5: } \omega_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (i = 1(1)n)$$

Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine Rangordnung der Indikatoren, geordnet nach der Wichtigkeit.

Da der paarweise Vergleich oftmals von der jeweiligen Expertise abhängig ist, kann eine Inkonsistenz der Werte nicht ausgeschlossen werden. Deshalb muss im nächsten Schritt die Gesamtkonsistenz aller paarweisen Vergleiche überprüft werden. Dafür werden zunächst die Eigenwerte

$$\text{Formel 6: } \lambda_i = \frac{A\omega_i}{\omega_i} \quad (i = 1(1)n)$$

mit

$$\text{Formel 7: } A\omega_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}\omega_j \quad (i = 1(1)n)$$

berechnet. Der Konsistenz-Index *CI* (Consistency Index) ergibt sich anschließend aus der Anzahl der Indikatoren *n* und dem Mittelwert der Eigenwerte

$$\text{Formel 8: } \lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}$$

zu

$$\text{Formel 9: } CI = \frac{\lambda - n}{n-1}$$

Letztlich wird der Konsistenzwert CR (Consistency Ratio) der paarweisen Vergleiche aus dem Quotienten aus CI und dem Random-Index RI ermittelt:

$$\text{Formel 10: } CR = \frac{CI}{RI}$$

Der Random Index RI ist von der Anzahl der Indikatoren abhängig und kann der Wertetabelle, die von Saaty zur Verfügung gestellt wurde, entnommen werden (s. Tab. 3).

Ordnung der Matrix	RI	Ordnung der Matrix	RI
1	0,00	9	1,45
2	0,00	10	1,49
3	0,58	11	1,51
4	0,90	12	1,48
5	1,12	13	1,56
6	1,24	14	1,57
7	1,32	15	1,59
8	1,41		

Tab. 3: RI -Wertetabelle (Abbildung nach Saaty)

Die paarweisen Vergleiche werden als konsistent angesehen, wenn der CR einen Wert kleiner als 0,1 annimmt.

$$\text{Formel 11: } CR < 0,1$$

Wird diese Ungleichung nicht erfüllt, muss der Ablauf des paarweisen Vergleiches so lange erneut durchgeführt werden, bis die Konsistenzbedingung erfüllt sind (Vogel 2010: 33ff.).

4.1.3 Feldforschung

Die Feldforschung im Untersuchungsraum dient der Validierung der Ergebnisse. Es wurde geprüft, ob die in der ersten Analyse potentiellen ermittelten Flächen für Versiegelungsverbotzonen und Hochwasserrückhaltebecken realistisch sind oder ob Fehler bei der Analyse aufgetreten sind. Die Feldforschung diente außerdem einer aktiven Auseinandersetzung mit dem Untersuchungsraum, um ein besseres Raumgefühl und einen Überblick über die vor Ort vorherrschenden Gegebenheiten und Zusammenhänge zu erhalten (Althaus/Grundwald/Kreuzer 2009: 8).

Zur Vorbereitung der Feldforschung wurden Erhebungsbögen erstellt, welche die Eignung von den Maßnahmen überprüften und eine Einheitlichkeit beim Vorgehen und somit Vergleichbarkeit geschaffen haben (Althaus/Grundwald/Kreuzer 2009: 27). Während der Feldforschung wurde die App des ArcGIS-Collector verwendet, womit Daten im Feld aktualisiert wurden und der genaue Standort mit den neu erfassten Daten direkt von dem Smartphone aus in die GIS-Datenbank übernommen und gespeichert werden konnten. Jegliche Informationen wurden protokolliert und in die GIS-Datenbank synchronisiert. Dies erhöhte die Genauigkeit der Feldforschung (Esri Insider 2016).

Durch eine Drohnenbefliegung konnten ebenfalls ein besseres Raumgefühl für die Flächen erlangt werden, da die Gegebenheiten des Forschungsraum besser aus der Vogelperspektive zu erkennen waren. Insbesondere die Möglichkeit Fotos aus verschiedenen Winkeln von den Flächen aufzunehmen, schaffte eine große Informationsbreite, besonders was die Topographie angeht, da topographische Gegebenheiten auf Satellitenaufnahmen schlecht ersichtlich waren. Anhand der Drohnenbefliegung konnte eine Datenbank mit Luftbildaufnahmen von sieben Flächen im Untersuchungsraum erstellt werden, welche für die weitere Forschung verwendet wurde. Mithilfe der Drohnenbefliegung war es außerdem möglich, Flächen zu betrachten, welche fußläufig nicht zugänglich waren. Gerade die Dokumentation der Drohnenaufnahmen war für die weitere Forschung sehr hilfreich, da die Aufnahmen hochauflösend, aktuell (29.03.2022) und jederzeit verfügbar sind.

4.2 Starkregenanalyse

Zur Identifizierung der Überflutungshotspots, welche den gleichnamigen Indikator für die Maßnahme der Versiegelungsverbotzonen bilden, sowie zur Überprüfung der Wirksamkeit der ausgewählten Flächen für Hochwasserrückhaltebecken wurde eine Starkregenanalyse mit einem GIS in Verbindung mit dem FloodArea-Tool durchgeführt. Dabei war der Anspruch, das Ausmaß des Starkregenereignisses vom Juli 2021 im Ahrtal zu simulieren. Durchgeführt wurde die Berechnung der Überflutungsflächen, indem durch ein Berechnungsraster dem Untersuchungsraum Wasser zugeführt wurde (geomer GmbH/Ruiz Rodriguez+Zeisler+Blank 2017: 3). Das Berechnungsraster entspricht dabei der Größe des Untersuchungsraums. Als weitere Grundlagen für die Starkregenanalyse dienten die topographischen Eigenschaften, eingespeist als digitales Geländemodell, sowie die Niederschlagsbelastung in l/m² pro Tag, als Berechnungsganglinie. Um das Ereignis vom 13. bis 15. Juli 2021 möglichst exakt zu simulieren, wurden für die Berechnung der Niederschlagsbelastung die Werte des DWD von diesen Zeitraum, im Wassereinzugsgebiet der Ahr, gewählt. Somit wurde in den ersten 24 Stunden ein Niederschlag von 0,54 mm/h in den folgenden 24 Stunden ein Niederschlag von 0,98 mm/h und am dritten Tag ein Niederschlag von 6,15 mm/h simuliert (Junghänel/Bisolli/Daßler et al. 2021: 5). Zur Beurteilung des Zeitverlaufs und der Entwicklung der Pegelstände wurden die stündlichen Pegelstände in Form von Überschwemmungstiefen berechnet.

Eine weitere Starkregenanalyse wurde durchgeführt, um die Retentionswirkung der Hochwasserrückhaltebecken abschätzen zu können. In dieser zweiten Analyse wurden ausgewählte Standorte für Hochwasserrückhaltebecken um 15 m abgesenkt, um die Umsetzung eines Beckens mittlerer Größe zu simulieren (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014: 11).

4.3 Kriterien- und Indikatorenwahl

Grundlage der multikriteriellen Bewertung sind zwei Kriterien- und Indikatorensysteme mit den Oberzielen. Die in den Analysen berücksichtigten Kriterien und Indikatoren werden im Folgenden erläutert, wodurch sich die erste Forschungsfrage, *anhand welcher Kriterien und Indikatoren sich die Eignung von Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen bewerten*, beantworten lässt. Zusätzlich befinden sich im Anhang detaillierte Angaben zu den Indikatoren und die Zwischenergebnisse der Kriterien- und Indikatorengrids.

4.3.1 Kriterien- und Indikatorensystem Hochwasserrückhaltebecken

Die herangezogenen Voraussetzungen, welche bei der Standortsuche von Hochwasserrückhaltebecken berücksichtigt wurden, sind im folgenden Kriterien- und Indikatorensystem aufgeführt. Ein Standort ist geeignet, wenn ein Hochwasserrückhaltebecken eine *maximale Retentionswirkung* erzielen kann und die Errichtung dessen einen *minimalen Umwelteingriff* zur Folge hat. Diese zwei Ansprüche stellen die zwei Teilziele dar, welche das Kriterien- und Indikatorensystem weiter strukturieren.

Die Retentionswirkung wird als Fähigkeit eines Standortes verstanden einen möglichst großen Teil des Zuflusses kurz- bzw. langfristig zu speichern (Haider 1994: 22). Da auf kleinstmöglichem Raum so viel Wasser wie möglich zurückgehalten werden soll, sind Flächen mit einer hohen potentiellen Retentionswirkung für die Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken besonders geeignet. Für die Bewertung des Teilziels der maximalen Retentionswirkung wurde die Umsetzbarkeit sowie die Effizienz der Retention anhand der Kriterien *Raumstruktur* und *Retentionslage* bewertet.

Die Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken stellt nach §14 Abs.1 BNatSchG einen Eingriff in den Naturhaushalt dar, der gem. §13 BNatSchG so gering wie möglich zu halten ist. Daraus ergibt sich das Teilziel des *minimalen Umwelteingriffes*. Die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens stellt nach §6 UVPG ein umweltverträglichkeitsprüfungspflichtiges Vorhaben dar. Liegt das Fassungsvermögen eines geplanten Hochwasserrückhaltebeckens unter 10 mio. qm³ bedarf es gem. §7 Abs. 1 UVPG einer allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls. Für eine Beurteilung des minimalen Umwelteingriffes sind demnach die Schutzgüter nach §2 Abs. 1 UVPG heranzuziehen. Der Umwelteingriff ist folglich minimal, wenn die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens gem. §2 Abs. 1 Nr. 1 - 4 UVPG keine negativen Auswirkungen auf die Schutzgüter

- Mensch, insbesondere die menschliche Gesundheit,
- Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt,
- Flächen, Boden, Wasser, Luft, Klima und Landschaft,
- Kulturelles Erbe und sonstige Sachgüter

zur Folge hat. Neben den Schutzgütern des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes (UVPG) wird in der Hochwassermanagement Richtlinie (HWRM–RL) besonders ein Schutz der menschlichen Gesundheit, der Umwelt, des Kulturerbes und der

wirtschaftlichen Tätigkeit als Ziel des Hochwasserrisikomanagements gem. §81 HWRM-RL definiert. Für die Bewertung des Teilzieles *minimalen Umwelteingriffes* wird zum einen das Kriterium *Schutz anthropogener Strukturen*, welches insbesondere den Schutz der menschlichen Gesundheit, wirtschaftlicher Tätigkeiten und Kulturgüter mit einbezieht, und zum anderen das Kriterium *Schutzwürdigkeit*, welches die Schutzgüter Tiere, Pflanzen, Flächen, Boden, Wasser und Landschaft berücksichtigt, formuliert.

Zusammenfassend werden in der Tab. 4 alle zugrunde liegenden Kriterien und Indikatoren aufgeführt, anhand derer die Eignung einer Fläche für die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens bewertet wird. Sie beantwortet somit die Frage, anhand welcher Kriterien und Indikatoren die Eignung einer Fläche für die Ausweisung als Hochwasserrückhaltebecken beurteilt werden kann.

Tab. 4: Überblick über das angewandte Kriterien- und Indikatorensystem zur Suche nach Standorten für Hochwasserrückhaltebecken (eigene Darstellung)

Teilziel	Kriterium	Indikator
Maximale Retentionswirkung	Raumstruktur	Hangneigung
		Zerschneidungsgrad
	Retentionslage	Distanz zu Fließwegen
		Oberliegernähe
Minimaler Umwelteingriff	Schutz anthropogener Strukturen	Distanz zu Siedlungsflächen
		Distanz zu Infrastruktureinrichtungen
		Distanz zu Kultur- und Sachgütern
		Distanz zu Lagerstätten
	Schutzwürdigkeit	Schutzgebietszugehörigkeit
		Natürlichkeitsgrad
		Biotisches Ertragspotential

Das Kriterium *Raumstruktur* bewertet inwiefern die räumlichen Gegebenheiten eine Retentionswirkung einschränken. Für die Bewertung der Retentionswirkung einer Fläche spielt es eine wesentliche Rolle, ob die Topographie und die Nutzungsstrukturen eine Retention zulassen (Ahmadisharaf/Tajrishy/Alamdri 2016; Vogel 2010). Demnach wird das Kriterium *Raumstruktur* durch die folgenden zwei Indikatoren quantifiziert:

- *Hangneigung*: Die *Hangneigung* beschreibt das Gefälle des Geländes und wird in Grad angegeben. Bei der Bewertung gilt, dass je flacher das Gelände, desto höher die Eignung der Fläche für den Hochwasserrückhalt (Moosmann/Schröder/Classen et al. 2018: 12). Aufgrund von Erkenntnissen aus der Feldforschung werden Flächen, die eine Hangneigung von über zehn Grad aufweisen als ungeeignet für Hochwasserrückhaltebecken angesehen.
- *Zerschneidungsgrad*: Der *Zerschneidungsgrad* stellt die Zerteilung der Landschaft durch von Menschen geschaffene linienhafte Infrastrukturen, wie Straßen oder Bahnschienen, dar. Im Sinne des Teilziels der *maximalen Retentionswirkung* dient der Indikator der Analyse von großen unzerschnittenen Flächen, da lediglich solche Flächen für eine Realisierung von Retentionsmaßnahmen geeignet sind (Vogel 2010: 227).

Die *Retentionslage* eines Standortes bewertet, inwiefern dort eine hohe Retentionswirkungen aufgrund der Lagebeziehung zu Fließwegen erzielt werden kann. Das Kriterium bewertet demnach die Effizienz der Retention. Für die Bewertung der *Retentionslage* wurden die Indikatoren *Oberliegernähe* und *Distanz zu Fließwegen* herangezogen:

- *Oberliegernähe*: Der Indikator beschreibt die Lage einer Fläche entlang des Flussverlaufs. Im Hinblick auf die Zielvorstellung der *maximalen Retentionswirkung* sind damit besonders Flächen flussaufwärts geeignet, da mithilfe einer am Oberlauf realisierten Maßnahme ein frühzeitiger Hochwasserrückhalt erzielt und somit ein größerer Anteil an Unterliegern flussabwärts geschützt werden kann (Vogel 2010: 75).
- *Distanz zu Fließwegen*: Die *Distanz zu Fließwegen* beschreibt die Nähe von Hochwasserrückhaltebecken zu Fließwegen, wodurch bei Hochwasserereignissen eine schnelle wie frühzeitige Retentionswirkung und die Einsparung von Zu- und Abflüssen für weiter entfernte Standorte ermöglicht wird (Vogel 2010: 75). Es werden die Ahr, der Adenauer Bach und Gewässer mit einer Flussordnungszahl von 3 oder 4 nach Strahler mit einbezogen.

Der Kriterium *Schutz anthropogener Strukturen* bewertet inwiefern durch die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens an einen bestimmten Standort eine Gefährdung der nach §2 Abs.1 UPVG und §1 HWRM – RL zu schützenden menschlichen Gesundheit, der wirtschaftlichen Tätigkeit und dem kulturellen Erbe

vorliegt. Durch eine möglichst große Entfernung zu Siedlungsflächen, ausgewählten Infrastruktureinrichtungen, Lagerstätten sowie Kultur- und Sachgüter sollen diese im Versagensfall eines Hochwasserrückhaltebeckens bestmöglich geschützt werden (Vogel 2010: 235). Die Abflussverhältnisse sind im GIS nicht berücksichtigt, da die Berechnung durch eine weitere zeitintensive Analyse ermittelt wird, die der weiteren vertiefenden Forschung bedarf. Für die Bewertung des Kriteriums wurden die folgenden Indikatoren betrachtet:

- *Entfernung zu Siedlungsflächen:* Je größer die Entfernung der Hochwasserrückhaltebecken zu den Siedlungsflächen ist, desto besser können die Gesundheit der Bewohner:innen im Falle eines Hochwassers geschützt werden (Vogel 2010: 223).
- *Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen:* Als Infrastruktureinrichtungen werden Einrichtungen für Handel und Dienstleistungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung, Sport und Freizeit berücksichtigt. Ein Schutz dieser Infrastrukturen gewährleistet somit auch den Schutz wirtschaftlicher Tätigkeiten, der sozialen Teilhabe und vor Allem der Versorgungssicherung nach einer Hochwasserkatastrophe (Vogel 2010: 63).
- *Entfernung zu Lagerstätten:* Lagerstätten sind Ansammlungen von Mineralien, die aus ökonomischen Interesse abgebaut werden (Neukirchen/Ries 2016: 1). Um ein hohes Schutzniveau der Bürger:innen der Gemeinden, der natürlichen Umwelt sowie die Abbaumöglichkeiten von Bodenschätzen zu gewährleisten, gilt es Unfälle mit gefährlichen Stoffen in Lagerstätten zu vermeiden. Da die Wahrscheinlichkeit von Unfällen in Verbindung mit Naturkatastrophen, wie bspw. Hochwasser oder durch Flutung erhöht werden können, gilt es diese durch eine Distanz zu jenen explizit zu schützen. Die Richtlinie 2012/18/EU zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen des Europäischen Parlaments und des Rates der EU sieht daher vor, dass geeignete vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden, „um ein hohes Schutzniveau für Bürger, Gemeinden und Umwelt [...] zu gewährleisten“ (Europäisches Parlament und Rat der EU 2012: 1) und damit die „Wahrscheinlichkeit und Folgen solcher Unfälle zu verringern“ (Europäisches Parlament und Rat der EU 2012: 1).

- *Entfernung zu Kultur- und Sachgütern:* Ein Schutz von *Kultur- und Sachgütern* leitet sich aus §1 HWRM – RL und §2 Abs. 1 Nr.4 UVPG, in denen der Schutz des kulturellen Erbes gesetzlich vorgeschrieben wird, ab. Kulturgüter fallen des Weiteren unter die im BNatSchG gelisteten Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Nach §1 Abs. 4 Nr. 1 BNatSchG sind historische Kulturlandschaften und -landschaftsteile von besonderer Eigenart zu erhalten (Vogel 2010: 90).

Das Kriterium *Schutzwürdigkeit* bewertet, inwiefern bei der Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken eine Beeinträchtigung der Schutzgüter Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Boden und Wasser vorliegt. Die *Schutzwürdigkeit* fokussiert sich demnach auf die Qualitätssicherung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes gem. §1 Abs.1 BNatSchG. Folgende Indikatoren wurden zur Bewertung herangezogen:

- *Schutzgebietszugehörigkeit:* Der Indikator der *Schutzgebietszugehörigkeit* berücksichtigt Wasser-, Heilquellen-, Natur- und Vogelschutz- sowie FFH-Gebiete und klassifiziert diese hinsichtlich der Unverträglichkeit ihrer Schutzziele mit der Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken. Demnach sind aus Sicht des Teilzieles des *minimalen Umwelteingriffes* Flächen zu vermeiden, die in Schutzgebieten liegen, deren Schutzziel durch die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens beeinträchtigt werden. Durch die Berücksichtigung von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten wird das Schutzgut Wasser und durch die Berücksichtigung von Naturschutz-, Vogelschutz- und FFH-Gebieten die Schutzgüter Tiere, Pflanzen sowie die biologische Vielfalt in die Analyse mit einbezogen.
- *Natürlichkeitsgrad:* Der *Natürlichkeitsgrad* stellt den anthropogenen Einfluss auf die räumliche Umwelt dar und ermöglicht eine Beurteilung der *Schutzwürdigkeit* einer Fläche insofern als, dass von einer naturnahen Fläche eine höhere Lebensraumfunktion und somit eine höhere *Schutzwürdigkeit* einhergeht (Lantzsch 2005: 74). Folglich sind naturnahe Standorte vor den mit der Ausweisung von Rückhaltebecken verbundenen Umwelteingriffen zu schützen, um die biologische Vielfalt in jenen Gebieten zu sichern.
- *Biotisches Ertragspotential:* Das Biotische Ertragspotential beschreibt die Fähigkeit eines Standortes nutzbare Biomasse zu produzieren (AG Boden 2005: 392 zit. nach Vogel 2010: 231). Der Indikator beachtet somit den Schutz

von Böden aber auch der zu schützenden Wirtschaftlichkeit eines Standortes, da das *biotische Ertragspotential* zeigt wie ertragreich land-, forst- oder fischereiwirtschaftliche Standorte sind (Zölitz 2016: 134). Da die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens auf einer ertragreichen Fläche eine solche Nutzung einschränken oder vollständig verhindern würde, werden Flächen mit einem hohen *biotischen Ertragspotential* als schutzwürdiger und somit als erhaltenswerter im Vergleich zu Flächen mit geringerer Ertragbarkeit bewertet.

4.3.2 Kriterien- und Indikatorensystem Versiegelungsverbotzonen

Für die Bewertung der Flächeneignung bei der Standortsuche von Versiegelungsverbotzonen wurden die Kriterien *Räumliche Gegebenheiten* und *Gefährdungspotential* herangezogen (s. Tab. 5).

Tab. 5: Überblick über das angewandte Kriterien- und Indikatorensystem zur Suche nach Zonen für ein Versiegelungsverbot (eigene Darstellung)

Kriterium	Indikator
Räumliche Gegebenheiten	Versiegelungsgrad
	Hangneigung
Gefährdungspotential	Überflutungshotspots

Das Kriterium *Räumliche Gegebenheiten* dient besonders dem Schutze von bestehenden potentiellen Versickerungsmöglichkeiten innerhalb von Siedlungsbereichen. Für die Bewertung wurden folgende Indikatoren ausgewählt:

- *Versiegelungsgrad verschiedener Nutzungen*: Dieser Indikator beschreibt den versiegelten Anteil an der Gesamtfläche einer Nutzungsart. Je höher der Anteil der versiegelten Fläche ist, desto geringer ist die Retentionswirkung (Umweltbundesamt 2022). Stark versiegelte Flächen und die dort vorhanden schützenswerten anthropogenen Strukturen sind somit im Falle eines Starkregenereignisses besonders gefährdet. Um eine weitere Verschlechterung der Versickerungsmöglichkeiten auf diesen gefährdeten Flächen zu verhindern sind, jene Gebiete für die Ausweisung eines Versiegelungsverbotes besonders geeignet.

- *Hangneigung*: Die Hangneigung beschreibt die Neigung des Geländes. Wasser kann auf Flächen mit geringer Hangneigung besser versickern. Somit sind Flächen mit einer geringen Neigung unter gleichen anderweitigen Bedingungen besonders geeignet für die Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen (Moosmann/Schröder/Classen et al. 2018: 12).

Bei dem Kriterium *Gefährdungspotential* wird berücksichtigt, welche Bereiche im Falle eines Starkregenereignisses besonders bedroht sind. Versiegelungsverbotzonen sind in Bereichen mit einer hohen potentiellen Gefährdung auszuweisen, um dort Schäden zu vermeiden. Für die Ermittlung des Gefährdungspotentials wurden im Zuge einer Starkregenanalyse *Überflutungshotspots* analysiert, welche im gleichnamigen Indikator in die Bewertung einfließen.

- *Überflutungshotspots*: Der Indikator kennzeichnet die Überflutungsbereiche im Untersuchungsraum, die im Rahmen eines extremen Starkregenereignisses auftreten können. Dabei gilt, dass je mehr Wasser sich an einem Standort sammelt, desto geeigneter ist dieser für die Ausweisung einer Versiegelungsverbotzone, da eine zusätzliche Versiegelung an diesen Standorten dazu führen würde, dass das Wasser bei einem Niederschlagsereignis nicht mehr versickern und abfließen kann und die Gefahren aufgrund dessen steigen (Umweltbundesamt 2022).

4.4 Gewichtung der Kriterien, Indikatoren und Teilziele

Auch wenn alle aufgezählten Kriterien und Indikatoren abwägungsrelevante Belange bei der Standortsuche von Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen darstellen, weisen sie nicht die gleiche Bedeutung auf. Aus diesem Grund wurden die zuvor aufgeführten Teilziele, Kriterien und Indikatoren in Bezug auf ihre Relevanz hinsichtlich der Erfüllung der Oberziele gewichtet. In diese Gewichtungen wurden Erkenntnisse aus der Feldforschung sowie das Fachwissen zweier ortskundiger Expert:innen mit einbezogen. Die Expertise des/der Expert:in A liegt im Bereich Wasserwirtschaft und Bodenschutz und die des/der Expert:in B im Bereich Hochwasservorsorge und Hochwasserrisikomanagement. Im Rahmen von Interviews wurde die Relevanz der Indikatoren anhand der Gewichtungsmethode AHP von diesen Expert:innen hinsichtlich der Erfüllung der Oberziele eingestuft (vgl. Anhang 3).

4.4.1 Gewichtung des Bewertungssystems Hochwasserrückhaltebecken

Die Gesamtgewichtung der Teilziele, Kriterien und Indikatoren des Oberziels „Flächen für Hochwasserrückhaltebecken“ sind in der Abb. 6 dargestellt. Im Folgenden werden diese Gewichtungen begründet und in den Kontext der Forschungsziele eingeordnet.

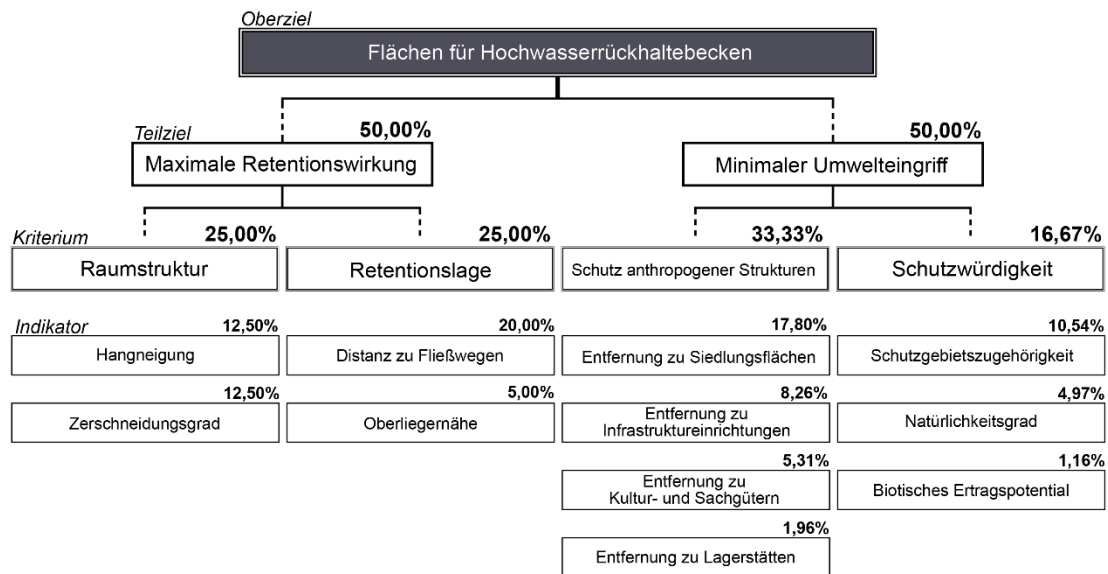


Abb. 6: Hierarchische Strukturierung des Oberziels Flächen für Hochwasserrückhaltebecken inkl. Gewichtungen (eigene Darstellung)

Die Teilziele *maximale Retentionswirkung* und *minimaler Umwelteingriff* weisen nach Einschätzung der befragten Expert:innen eine äquivalente Bedeutung auf und wurden aus diesem Grund gleich gewichtet. Ein Standort eigne sich laut Expertise A auch bei einem geringen Umwelteingriff nur dann, wenn ein Hochwasserrückhaltebecken dort eine hohe Retentionswirkung erziele. Bei einem zu starken Umwelteingriff sei hingegen ein Hochwasserrückhaltebecken nach Expertise B nicht umsetzbar, auch wenn an dem Standort eine hohe Retentionswirkung erzielt werden könne.

Die beiden Kriterien des Teilziels *maximale Retentionswirkung*, *Raumstruktur* und *Retentionslage* wurden ebenfalls gleich gewichtet. An einem Standort könne nach Expertise B keine *maximale Retentionswirkung* erzielt werden, wenn aus Sicht des Kriteriums *Raumstruktur* die Realisierung eines Hochwasserrückhaltebeckens zwar umsetzbar, aber aus Sicht des Kriteriums *Retentionslage* nicht effizient sei. Andererseits sei eine Fläche mit einer potentiell sehr effizienten Retention nicht geeignet, sofern die Maßnahme dort aufgrund der Topographie und aufgrund bestehender Barrieren nicht umsetzbar ist.

Bei dem Kriterium *Raumstruktur* wurden die Indikatoren *Hangneigung* und *Zerschneidungsgrad* gleich gewichtet. Dadurch wurde die Einschätzung der Expert:innen relativiert, die dem *Zerschneidungsgrad* eine höhere Bedeutung zuschrieben. Die Relativierung dieser Ansichten geschah aufgrund vorläufiger Berechnungen, bei welchen die Auffassungen der Expert:innen übernommen wurden und sich auf die Erkenntnisse der Feldforschung gestützt wurde. Dabei wurden geeignete Flächen evaluiert, die nicht von einer Zerschneidung betroffen waren, jedoch zum Teil eine zu hohe Neigung aufwiesen, um in der Praxis als geeignet eingestuft werden zu können. Aus diesem Grund wurde von den Expertisen abgewichen und dem Indikator *Hangneigung* eine ausreichende Signifikanz zugewiesen.

Innerhalb des Kriteriums *Retentionslage* wurde der Indikator *Distanz zu Fließwegen* deutlich stärker gewichtet als die *Oberliegernähe*. Bezüglich dieser Gewichtung stimmten die Expertisen überein, dass Hochwasserrückhaltebecken nur in der Nähe von Fließwegen realisierbar seien. Je weiter die Fläche von Fließwegen entfernt ist, desto schwieriger sei es nach Expertise A diese zu aktivieren. Der Indikator der *Oberliegernähe* sei für die Bewertung der *Retentionslage* von geringerer Bedeutung, da allein durch die Zuordnung einer Fläche zu unterschiedlichen Teileinzugsgebieten nicht gewährleistet werde, dass ein Hochwasserrückhaltebecken eine effiziente Retentionswirkung aufweise.

Bei den Kriterien des Teilziels *minimaler Umwelteingriff* wird das Kriterium *Schutz anthropogener Strukturen* höher gewichtet als die *Schutzwürdigkeit* und berücksichtigt somit die Expertise B. Dies entspricht der Zielsetzung der Forschungsarbeit die Menschen vor den Auswirkungen von Extremwetterereignissen zu schützen.

Aus dieser Zielsetzung leitet sich auch die Gewichtung der Indikatoren innerhalb des Kriteriums *Schutz anthropogener Strukturen* ab. Diese Gewichtung stellt die *Entfernung zu Siedlungsflächen* und somit den Schutz der Menschen in den Vordergrund. Darauf folgt die *Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen*, die *Entfernung zu Kultur- und Sachgütern* und die *Entfernung zu Lagerstätten*. Die niedrige Gewichtung des Indikators *Entfernung zu Lagerstätten* leitet sich aus der Expertise B ab, dass die Gefahr der Flutung aufgrund der Art der Lagerstätten als gering einzustufen sei, da es sich z.B. um Tongruben handelt und nur eine geringe Anzahl an Lagerstätten im Untersuchungsraum vorzufinden ist.

Innerhalb des Kriteriums der *Schutzwürdigkeit* wurde die *Schutzgebietszugehörigkeit* am höchsten gewichtet. Die vergleichsweise hohe Gewichtung des Indikators ist dabei nach der Expertise B durch den etablierten Charakter der Schutzgebiete zu begründen. Dieser habe zur Folge, dass eine hohe Akzeptanz bei der Umsetzung von Maßnahmen innerhalb der Schutzgebiete notwendig sei, was aufgrund der großen Anzahl beteiligter Akteur:innen einige Hürden bei der Umsetzung mit sich bringe. Des Weiteren sei die Umsetzung der Maßnahme nach Expertise A beispielsweise in Wasserschutzgebieten generell nicht möglich, sodass es für die Analyse essentiell sei, dass diese Flächen von vornherein als nicht geeignet eingestuft werden und der Indikator dementsprechend eine hohe Gewichtung aufweist. Bei dem paarweisen Vergleich der Indikatoren *Biotisches Ertragspotential* und *Natürlichkeitsgrad* steht der Schutz von Flächen mit einem hohen landwirtschaftlichen Ertragspotential im Konflikt mit dem Erhalt naturnaher Flächen und somit der Lebensraumfunktion des Naturhaushaltes. Im Rahmen dieser Analyse wurde der *Natürlichkeitsgrad* höher als das *Biotische Ertragspotential* gewertet. Diese Gewichtung ist auf die Annahme der Expertise B zurückzuführen, dass Ausgleichsmaßnahmen in Bezug auf das biotische Ertragspotential geschaffen werden können, wohingegen dies bei dem Natürlichkeitsgrad nicht möglich sei.

4.4.2 Gewichtung des Bewertungssystems Versiegelungsverbotzonen

Die Gesamtgewichtung der Kriterien und Indikatoren des Oberziels Versiegelungsverbotzonen sind in der folgenden Abb. 4 dargestellt.

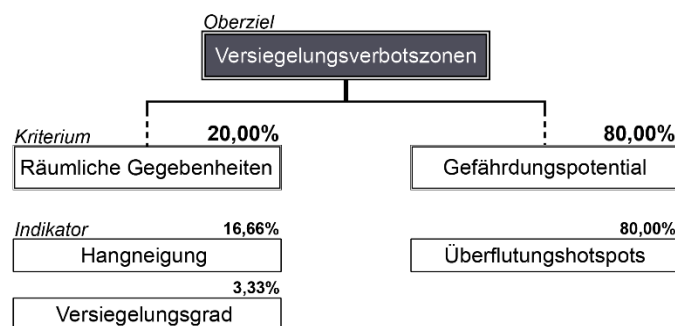


Abb. 7: Hierarchische Strukturierung des Oberziels Versiegelungsverbotzonen inkl. Gewichtungen (eigene Darstellung)

Bei der Maßnahme Versiegelungsverbotzonen wurde das Kriterium *Gefährdungspotential* stärker gewichtet als die *Räumlichen Gegebenheiten*. Dies ist

auf die Annahme der Expertise B zurückzuführen, wonach in Gebieten mit einem hohen Gefährdungspotential nicht mehr gebaut werden sollte, da diese Bebauung im Zuge eines Starkregenereignisses zerstört und Menschen gefährdet werden könnten.

Innerhalb des Kriteriums *Räumliche Gegebenheiten* kommt dem Indikator *Hangneigung* eine höhere Gewichtung als dem Indikator *Versiegelungsgrad* zu, da mit einem steigenden Gefälle, die Möglichkeit der Versickerung sinkt. Aus diesem Grund ist es umso wichtiger, dass die Flächen unversiegelt bleiben, auf denen Wasser versickern kann.

Da das Kriterium *Gefährdungspotential* allein durch den Indikator *Überflutungshotspots* operationalisiert wird, weist dieser die identische Gewichtung wie das zugehörige Kriterium auf.

Diese dargestellten Gewichtungen sind auf die Gegebenheiten im Ahrtal angepasst und aus diesem Grund, im Gegensatz zu dem Kriterien- und Indikatorensystem, nicht auf andere Regionen übertragbar. Bei einer Anwendung in einer anderen Region wäre somit eine erneute Durchführung des AHP unter Anpassung der Gewichtungen erforderlich, um fundierte Ergebnisse zu erhalten.

5. Ergebnisse

Im Folgenden wird auf die Identifizierung und Ausweisung der geeigneten Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen eingegangen. Hiermit wird die Forschungsfrage: Welche Flächen eignen sich für Maßnahmen zum Hochwasserrückhalt und als Versiegelungsverbotzonen?, beantwortet. Die Darstellung der geeigneten Flächen erfolgt in Abb. 11. Aufbauend auf dem gewichteten Indikatorensystem zur multikriteriellen Bewertung der Flächen im Untersuchungsraum wurde die CP-Methode durchgeführt. Da unter Verwendung der City-Block Norm (CP1) eine totale Kompensation der Indikatoren stattfindet und unter Verwendung der Maximum-Norm (CP10) nicht kompensiert wird, wurde die euklidische Norm (CP2) als Kompensationsmaß gewählt. Aus den Analyseergebnissen der CP-Methode ergibt sich somit eine Kompromisslösung, deren Eignungswerte der Rasterzellen zwischen dem Idealwert (1) und dem Anti-Idealwert (0) zugeordnet werden. Dies ist für die Oberziele in den Abb. 8 und 9 dargestellt.

5.1 Oberziel-Analyseergebnisse der multikriteriellen Bewertung

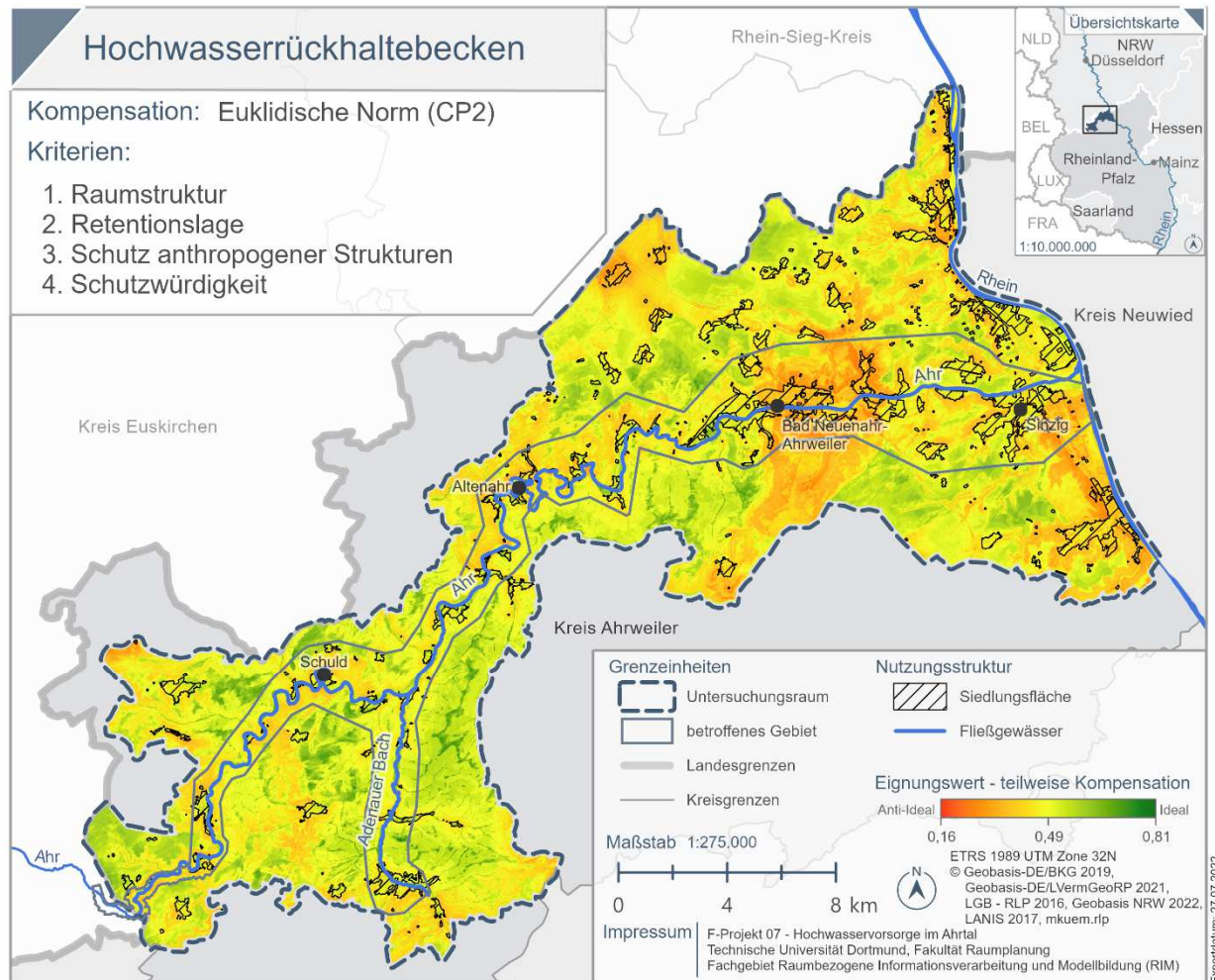


Abb. 8: CP2-Berechnung des Oberziels Hochwasserrückhaltebecken (eigene Darstellung)

Das Gesamtbild der Kompromisslösung zur Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken zeigt eine weite Verteilung von hohen sowie niedrigen Eignungswerten über den gesamten Untersuchungsraum auf. Während im Nord-Osten das Heilquellenschutzgebiet „Bad Neuenahr-Ahrweiler“ und das Wasserschutzgebiet „Goldene Meile“ bei Sinzig die Eignung mindern, stellt im Süd-Westen besonders die ausgeprägte Topographie ein Hindernis für die Umsetzung von Hochwasserrückhaltebecken dar. Desweiteren weisen gemäß der Kriterien *Raumstruktur* und *Retentionslage* besonders ebene Flächen entlang der Fließwege geeignete Bereiche auf. Durch den an der Ahr verlaufenden Siedlungsraum bilden diese Gebiete nur punktuell hohe Eignungswerte, da anhand des Indikators *Distanz zu Siedlungsflächen* die Nähe zu Siedlungsbereichen als Anti-Ideal definiert wird.

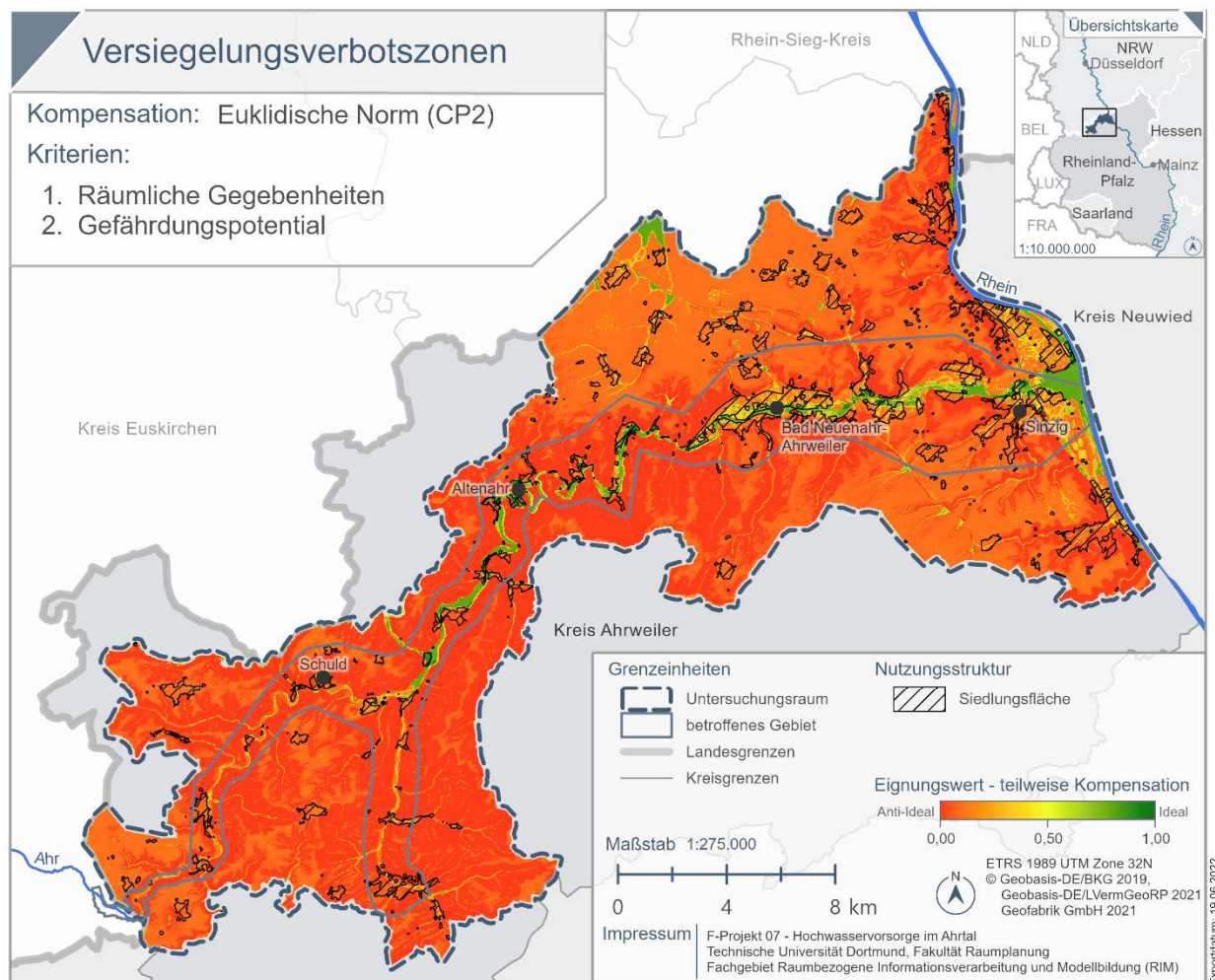


Abb. 9: CP2-Berechnung des Oberziels Versiegelungsverbotzonen (eigene Darstellung)

Die potentiellen Standorte für Versiegelungsverbotzonen weisen eine räumliche Fokussierung flussabwärts der Ahr ab der Mündung des Adenauer Baches auf. Dabei stellen insbesondere Siedlungsgebiete aufgrund eines hohen Versiegelungsgrads geeignete Bereiche dar, welche gemäß des Indikators *Versiegelungsgrad* mit hohen Eignungswerten bewertet werden. Besonders die topographischen Gegebenheiten des Untersuchungsraumes beeinträchtigen die gesamträumliche Eignung für Versiegelungsverbotzonen. Die Indikatoren *Hangneigung* und *Überflutungshotspots* ordnen unebenen Flächen niedrige Eignungswerte zu, wodurch vermehrt im Nord-Osten geeignete Bereiche vorzufinden sind. Zur Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen werden somit diejenigen Flächen entlang der Ahr bevorzugt, welche ein flaches Gelände, einen hohen Versiegelungsgrad sowie ein starkes Gefährdungspotential, aufgrund des aus der Starkregenanalyse hervorgehenden hohen Wasserstandes, aufzeigen.

5.2 Verteilung der Eignungswerte im Untersuchungsraum

Wurden bisher die Ergebnisse der CP-Analysen für den Untersuchungsraum anhand kartographischer Ansichten räumlich verortet, veranschaulichen die folgenden Histogramme die Verteilung der Eignungswerte aller drei Kompensationsmaße (Abb. 10). Aus den maximalen Eignungswerten der Rasterzellen, welche bei der CP2-Analyse für die Hochwasserrückhaltebecken bei 0,84 und bei der Berechnung für Versiegelungsverbotzonen bei einem absoluten Idealwert von 1 liegen, lässt sich schlussfolgern, dass die Analyse der Hochwasserrückhaltebecken mehr Kompromisse erfordert, welche aus einer größeren Anzahl an Indikatoren resultieren. Ebenso variiert die Häufigkeitsverteilung der Eignungswerte bei beiden CP2-Analysen. Hierbei zeigt sich besonders die starke Ausprägung von Bereichen mit niedrigen Eignungswerten beim Oberziel Versiegelungsverbotzonen. So weisen über 90% aller Werte einen Eignungswert von unter 0,1 auf. Ausschlaggebend dafür ist die hohe Gewichtung des Indikators *Überflutungshotspots*, der nur die gefährdetsten Überflutungsbereiche als geeignete Standorte für die Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen bewertet. Die Verteilung der Eignungswerte der Hochwasserrückhaltebecken konzentriert sich auf die mittleren Werte von 0,4 bis 0,56. Dies lässt sich vor allem durch die vielen Kompromisse zwischen konkurrierenden Zielvorstellungen, die getroffen wurden, begründen. Die Histogramm verdeutlichen, dass bei einer totalen Kompensation (CP 1) generelle höhere Eignungswerte bestimmt werden, während bei keiner Kompensation (CP 10) die Eignungswerte geringer sind.

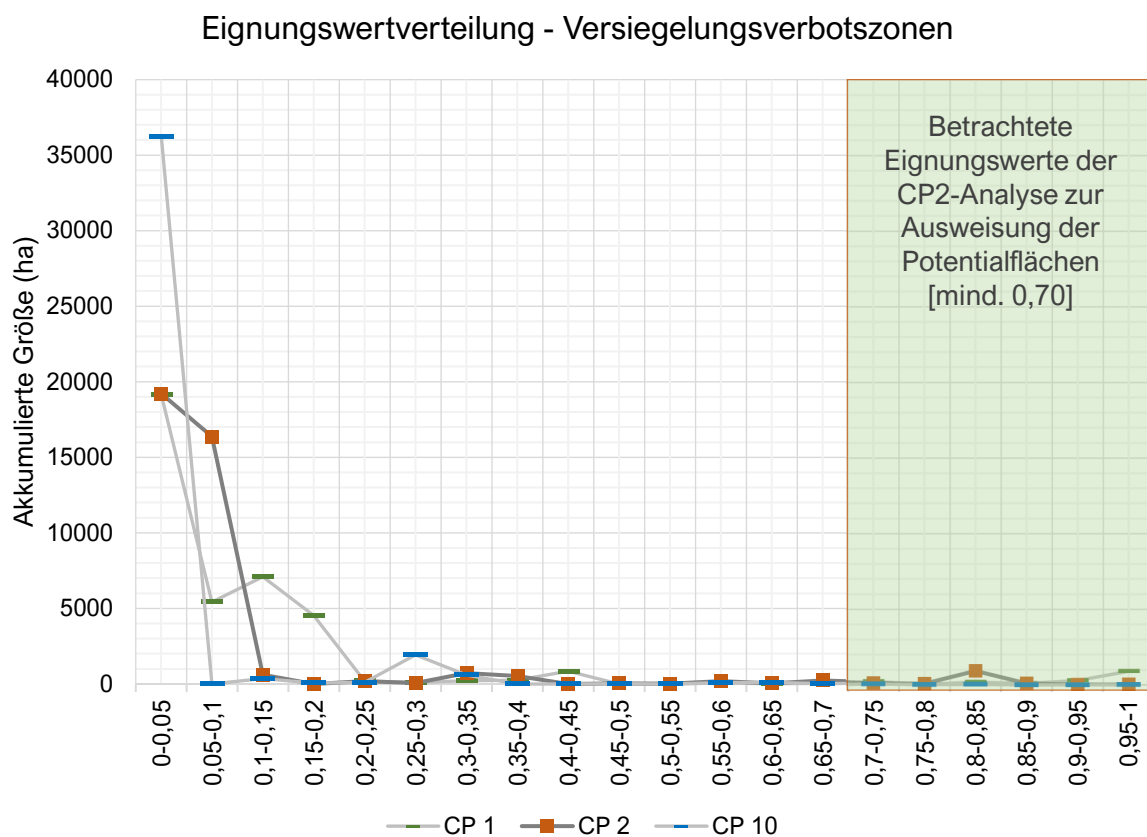
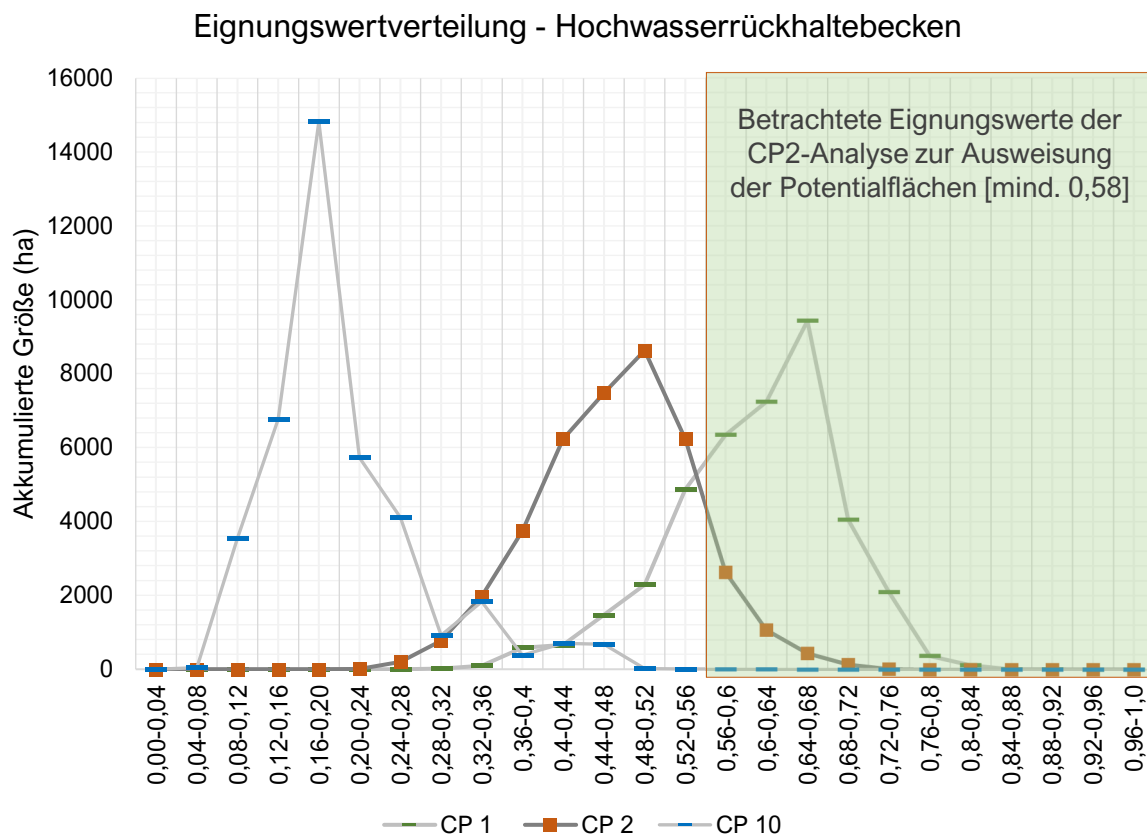


Abb. 10: Verteilung der Eignungswerte (eigene Darstellung)

5.3 Auswahl geeigneter Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen

Um aus der durchgeführten Analyse und der herausgebildeten Eignungswertverteilung die bestmöglichen Standorte für eine Ausweisung von Hochwasserrückhaltebecken sowie Versiegelungsverbotzonen auszuwählen wurden die 10 % der Rasterzellen mit den höchsten Eignungswerten selektiert und nur zusammenhängende Rasterzellen berücksichtigt, welche insgesamt eine Größe von mindestens 0,5 ha aufweisen. Isolierte Zellen haben, auch wenn die Eignungswerte diese als geeignet erscheinen lassen, lediglich einen geringfügigen Einfluss anlässlich des genannten Ziels. Damit gilt eine Ausweisung größerer Bereiche als effizienter und relevanter. Ein weiteres Kriterium zur Ausweisung der Potentialflächen stellt die Abgrenzung durch das „betroffene Gebiet“ dar. Dies begründet sich dadurch, dass das in der Nähe der Ahr liegende Gebiet im Fokus der Vorsorge gegen Extremwetterereignisse steht. Die weiteren Auswahlverfahren ausgehend von den 10% der Rasterzellen mit den höchsten Eignungswerten unterschieden sich.

Für die Standortwahl von Hochwasserrückhaltebecken konnten nach der vorläufigen Selektion bereits innerhalb des „betroffenen Gebietes“ mehrere zusammenhängende Gebiete erkannt werden, welche hohe Eignungswerte aufweisen. Im weiteren Verlauf wurden für eine Erweiterung und Schließung von zusammenhängenden Rasterzellen angrenzende Zellen, deren Eignungswerte zu den besten 15 % gehörten, hinzugezogen. Somit kamen insgesamt Gruppen von Rasterzellen mit Eignungswerten zwischen 0,58 und 0,81 als Standorte für Hochwasserrückhaltebecken in Betracht. Bei der Auswahl der Versiegelungsverbotzonen liegt ein Großteil der 10 % der besten Flächen in den bereits gesetzlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten. Daran anschließend wurden direkt anliegende Flächen mit den besten Eignungswerten ausgewählt, diese haben den Wert 0,7 oder höher. Lediglich die Fläche Heimersheim (V-01) weist einen geringen Eignungswert von 0,36 auf. Dies begründet sich in der Größe der Fläche, da aufgrund dieser auch vereinzelte niedrige Eignungswerte in der gesamten ausgewiesenen Fläche enthalten sind. Als abschließendes und umfassendes Ergebnis der Projektarbeit dient der folgende Rahmenplan (s. Abb. 11).

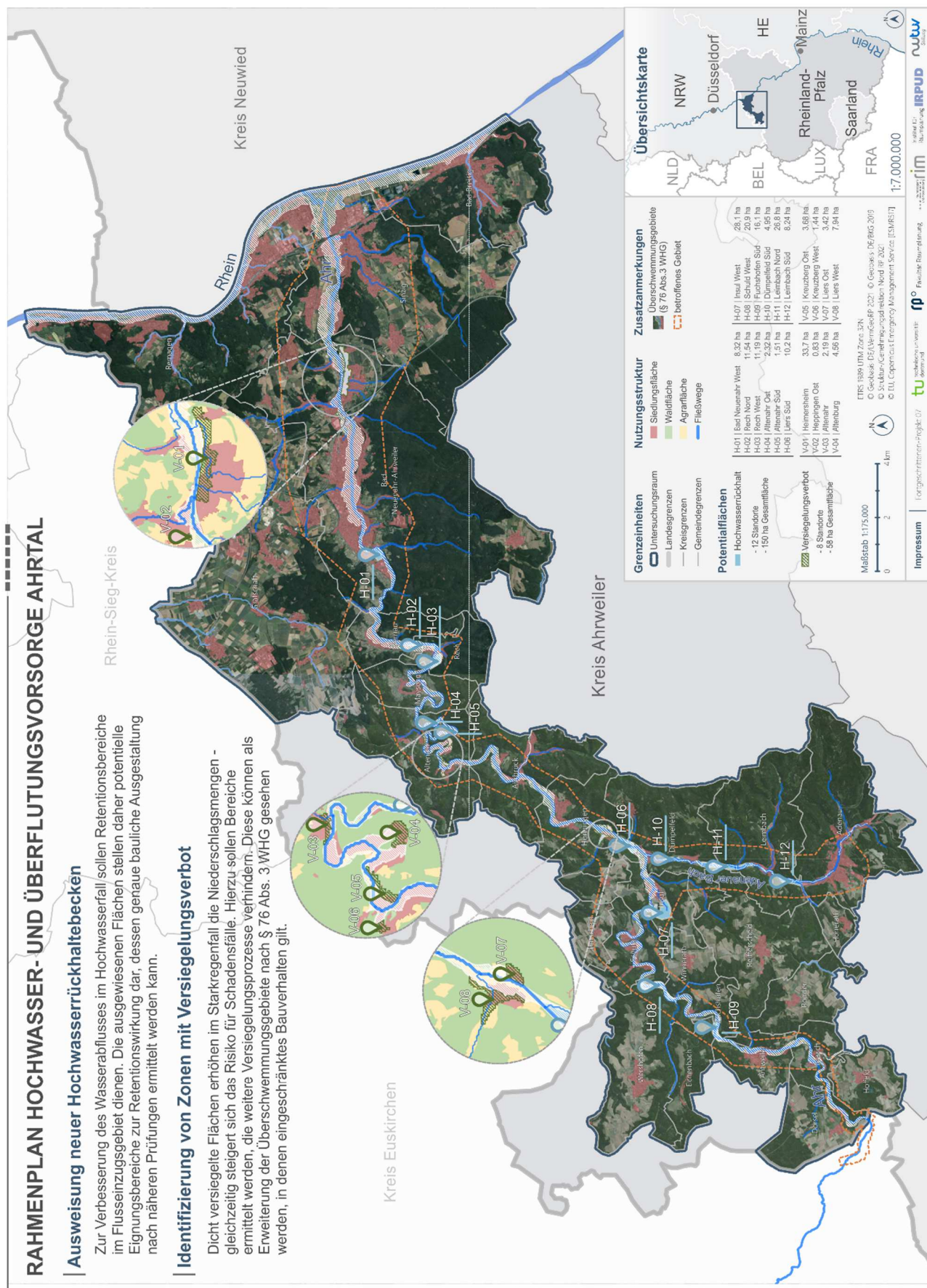


Abb. 11: Rahmenplan Hochwasser- und Überflutungsvorsorge im Ahrtal (eigene Darstellung)

Aufbauend auf der Selektion der Rasterzellen wurden zwölf Standorte für Hochwasserrückhaltebecken und acht Standorte für die Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen ermittelt. Die Flächen für Hochwasserrückhaltebecken erstrecken sich annähernd durch den gesamten Untersuchungsraum. Lediglich östlich von Bad Neuenahr-Ahrweiler ergaben sich keine geeigneten Standorte. Gemeinsam ist den Flächen eine flache Topographie, eine meist landwirtschaftliche Nutzung und die unmittelbare Nähe zur Ahr und zum Adenauer Bach. Die Zonen für Versiegelungsverbot befinden sich flussabwärts ab der Mündung des Adenauer Bachs über den Untersuchungsraum verteilt, direkt anschließend an das Überschwemmungsgebiet.

5.3.1 Versiegelungsverbotzonen

Die Standorte im Untersuchungsraum, auf welchen eine weitere Versiegelung gemieden werden sollte (s. Tab. 6), dienen als Ergänzung zu den bestehenden gesetzlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten. In diesen werden neue Baugebiete und die Errichtung baulicher Anlagen gem. §78 WHG nur unter bestimmten Bedingungen gewährt. Die gesetzlichen Überschwemmungsgebiete decken einen Großteil der für die Eignung der Versiegelungsverbotzonen relevanten Rasterzellen ab. Daher lässt sich die Überschneidung der Rasterzellen der geeigneten Werte mit den Überschwemmungsgebieten ebenfalls als eine Validierung der Überschwemmungsgebiete und der durchgeführten Analyse interpretieren. Lediglich flussaufwärts der Ahr ab der Mündung des Adenauer Bachs sind die Eignungswerte innerhalb der Überschwemmungsgebiete näher am Anti-Idealwert und somit nicht relevant für die Ausweisung der Versiegelungsverbotzonen.

Tab. 6: Geeignete Flächen für ein Versiegelungsverbot (eigene Darstellung)

Versiegelungsverbotzonen							
Kürzel	Name	Größe [ha]	Gemeinde	Vorherrschende Nutzung	Ø Gesamteignungswert	Eignungswert	
						Gefährdungspotential	Räumliche Gegebenheiten
V-01	Heimersheim	33,7	Bad Neuenahr-Ahrweiler	Siedlungsfläche, Wald, Landwirtschaft	0,83	0,95	0,7
V-02	Heppingen Ost	0,83	Bad Neuenahr-Ahrweiler	Siedlungsfläche, Landwirtschaft	0,72	0,84	0,59
V-03	Altenahr	2,19	Altenahr	Siedlungsfläche	0,7	1	0,39
V-04	Altenburg	4,56	Altenahr	Siedlungsfläche	0,82	1	0,49
V-05	Kreuzberg Ost	3,68	Altenahr	Siedlungsfläche	0,69	1	0,34
V-06	Kreuzberg West	1,44	Altenahr	Siedlungsfläche	0,77	0,93	0,68
V-07	Liers Ost	3,42	Hönningen	Gewerbe	0,82	1	0,6
V-08	Liers West	7,94	Hönningen	Siedlungsfläche, Landwirtschaft	0,83	1	0,7

Insgesamt werden somit 57,78 ha als Versiegelungsverbotzonen ausgewiesen. Davon liegen 1,68 ha in der Gemeinde Altenahr, 34,59 ha in Bad Neuenahr-Ahrweiler und 11,32 ha in Hönningen. An diesen Standorten ist größtenteils Siedlungsfläche und somit bereits Versiegelung vorzufinden. Eine Ausnahme stellt eine Teilfläche (V-01) in Bad Neuenahr-Ahrweiler und eine Teilfläche (V-07) in Hönningen dar, die hauptsächlich landwirtschaftlich geprägt ist. Die den Flächen zugeordneten durchschnittlichen Eignungswerte liegen zwischen 0,69 bis 0,83. Nennenswert ist zudem, dass die größten Standorte Heimersheim (V-01) mit 33,76 ha und Liers-West (V-08) mit 7,9 ha auch die höchsten durchschnittlichen Eignungswerte vorzuweisen haben und dementsprechend am geeignetsten für eine Erweiterung der gesetzlichen Überschwemmungsgebiete sind. Bei einer genaueren Betrachtung der Kriterien fällt auf, dass beim *Gefährdungspotential* nahezu alle Flächen den Idealwert erreichen und somit ein erhöhtes Risiko für eine Betroffenheit bei Starkregen besteht. Nur die Fläche Heppingen-Ost (V-02) mit 0,84 weist ein etwas geringeres *Gefährdungspotential* auf. Im Gegensatz dazu ist die Beschreibung des Kriteriums *Räumliche Gegebenheiten* deutlich differenzierter und somit ausschlaggebender für die Priorisierung der Flächen. Hier weisen die Flächen Eignungswerte von 0,34 (Kreuzberg Ost V-05) bis hin zu 0,7 (Heimersheim V-01 & Liers West V-08) auf. Die geeigneten Flächen nach den Räumlichen Gegebenheiten sind zumeist landwirtschaftlich oder von Waldflächen geprägt und dementsprechend weniger versiegelt. Dies ist auf die stärkere Gewichtung des Indikators *Hangneigung* zurückzuführen.

Als Beispielfläche der Versiegelungsverbotzonen ist in Abb. 12 Altenburg (V-04) dargestellt. Da der Indikator *Überflutungshotspots* eine deutliche Überflutung aufzeigen, weist dieser Indikator eine optimale Eignung von 1 auf. Der Eignungswert für den Indikator Versiegelungsgrad beträgt aufgrund der vorliegenden Siedlungsflächen 0,67. Die *Hangneigung* weist zudem eine Eignung von 0,6 auf. Insgesamt führt dies zu einem durchschnittlichen Eignungswert von 0,82.

Identifizierung von Versiegelungsverbotzonen: V-04 – Altenburg

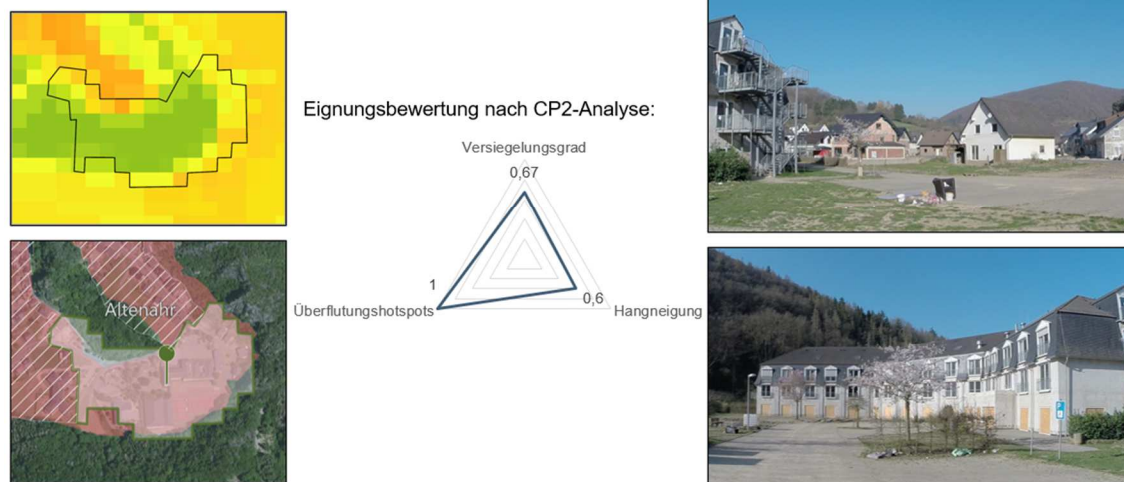


Abb. 12: Beispielfläche Versiegelungsverbotzone - Altenburg (V-04) (eigene Darstellung)

5.3.2 Hochwasserrückhaltebecken

Des Weiteren werden zwölf Standorte im Untersuchungsraum ausgewiesen, welche sich besonders für die Ausweisung als Hochwasserrückhaltebecken eignen (s. Tab. 7). Zusätzlich wurde bei der Ausweisung darauf geachtet, dass die Rasterzellen sich nicht mit Siedlungsbereichen überschneiden. Die ausgewählten Flächen erstrecken sich durch das gesamte Untersuchungsgebiet und liegen damit sowohl flussaufwärts als auch näher zur Mündung in den Rhein, bei Bad Neuenahr-Ahrweiler. Die vorherrschende Nutzung ist landwirtschaftlich. Lediglich auf den Flächen Altenahr Nord, Altenahr Süd und Schuld West sind ebenfalls Wälder vorzufinden.

Tab. 7: Geeignete Flächen für Hochwasserrückhaltebecken (eigene Darstellung)

Hochwasserrückhaltebecken									
Kürzel	Name	Größe [ha]	Gemeinde	Vorherrschende Nutzung	Ø Gesamteignungswert	Retentionslage	Raumstruktur	Baulicher Bestandsschutz	Schutzwürdigkeit
H-01	Bad Neuenahr West	8,32	Bad Neuenahr-Ahrweiler	Landwirtschaft	0,6	0,47	1	0,24	0,73
H-02	Rech Nord	11,54	Rech, Dernau	Landwirtschaft	0,62	0,47	1	0,22	0,73
H-03	Rech West	11,19	Rech	Landwirtschaft	0,64	0,47	0,97	0,31	0,73
H-04	Altenahr Ost	2,32	Altenahr	Wald	0,63	0,65	0,84	0,44	0,43
H-05	Altenahr Süd	1,51	Altenahr	Landwirtschaft, Wald	0,63	0,65	0,99	0,41	0,46
H-06	Liers Süd	10,2	Hönningen	Landwirtschaft	0,58	0,82	0,59	0,41	0,54
H-07	Insul West	28,1	Insul	Landwirtschaft	0,66	0,82	0,6	0,5	0,68
H-08	Schuld West	20,9	Schuld, Wershofen, Winnerath	Landwirtschaft, Wald	0,64	0,91	0,63	0,54	0,58
H-09	Fuchshofen Süd	16,1	Fuchshofen, Eichenbach, Antweiler	Landwirtschaft	0,58	1	0,52	0,52	0,5
H-10	Dümpelfeld Süd	4,95	Dümpelfeld	Landwirtschaft	0,59	0,82	0,68	0,3	0,56
H-11	Leimbach Nord	26,8	Leimbach, Dümpelfeld	Landwirtschaft	0,61	0,88	0,74	0,44	0,54
H-12	Leimbach Süd	8,24	Leimbach	Landwirtschaft	0,67	1	0,95	0,4	0,54

Insgesamt eignen sich ca. 150 ha für die Errichtung von Hochwasserrückhaltebecken. Die ausgewählten einzelnen Flächen sind zwischen 1,51 ha und 28,1 ha groß. Insul West (H-07) mit einer Größe von 28,1 ha sowie Leimbach Nord (H-11) mit 26,8 sind die größten potentielle Retentionsfläche. Aus Sicht des Kriteriums *Retentionslage* sind die Flächen Fuchshofen Süd (H-09) und Leimbach Süd (H-12) am idealsten. Niedrigere Eignungswerte von Standorten flussabwärts im Osten in Bezug auf das Kriterium *Retentionslage* lassen sich größtenteils auf den Indikator *Oberliegernähe* zurückführen. Im Gegensatz dazu ist die *Raumstruktur* der östlichen Flächen positiv einzuordnen. Besonders Bad Neuenahr West (H-01) und Rech Nord (H-02), die wie erwähnt, aus Sicht der *Retentionslage* weniger geeignet sind, erreichen bei dem Kriterium *Raumstruktur* den Idealwert. Die allgemeine Verteilung der durchschnittlichen Eignungswerte der *Raumstruktur* erstreckt sich zwischen 0,52 bis 1. Die Eignungswerte des *Schutzes anthropogener Strukturen* verteilen sich zwischen 0,22 bis 0,54 und sind demzufolge weitaus geringer als bei den Eignungswerten anderer Kriterien. Bei näherer Betrachtung der Siedlungsgebiete im Untersuchungsraum fällt auf, dass diese meist in den Tallagen und demnach auch in Flussnähe lokalisiert sind. Dies steht im Konflikt mit der Standortsuche für Hochwasserrückhaltebecken, die in der Nähe des Fließgewässers errichtet werden sollen. Viele der aus der CP-Analyse resultierenden Flächen überschneiden sich trotz des Indikators *Distanz zu Siedlungsflächen* mit Siedlungsgebieten, wie z.B. in den Gemeinden Insul und Altenahr. Diese Flächen sind allerdings, wie bereits beschrieben, aufgrund des Auswahlverfahrens nicht berücksichtigt worden. Die geeignetsten Flächen aus Sicht des *Schutzes anthropogener Strukturen* sind Schuld West (H-08) mit 0,54, Fuchshofen Süd (H-09) mit 0,52 und Insul West (H-07) mit 0,5. Bad Neuenahr West (H-01) mit 0,24 und Rech Nord (H-02) mit 0,22 weisen die geringsten Eignungswerte bezüglich des *Schutzes anthropogener Strukturen* auf, da diese direkt an Siedlungsgebieten angrenzen oder von diesen umgeben sind. Auch bei dem Kriterium *Schutzwürdigkeit* erreicht keine Flächen den Idealwert. Allerdings ist hier die Verteilung im Vergleich zum *Schutz anthropogener Strukturen* durchaus positiver einzuordnen, da Eignungswerte zwischen 0,46 und 0,73 erreicht werden. Die Flächen Bad-Neuenahr West (H-01), Rech Nord (H-02) und Rech Süd (H-03) sind mit einem Eignungswert von 0,73 besonders schutzwürdig. Die Standorte, an welchen am wenigsten die Ansprüche der *Schutzwürdigkeit* berücksichtigt wurden, sind Altenahr Ost (H-04) und West (H-05) mit einer Eignung von 0,43 und 0,46. Insgesamt erzielen

die Flächen einen durchschnittlichen Eignungswert zwischen 0,58 bis 0,67. Dabei weist die Fläche Leimbach Süd (H-12) mit 0,67 die beste Eignung für die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens auf. Leimbach Süd (H-12) ist vor Allem aus Sicht der Kriterien *Retentionslage* und *Raumstruktur* ein nah zu idealer Standort, während es für die Kriterien *Schutz anthropogener Strukturen* und *Schutzwürdigkeit* niedrige Eignungswerte aufweist. Insul West (H-07) erzielt einen durchschnittlichen Eignungswert von 0,66, dabei erreicht sie allerdings bei keinem Kriterium annähernd den Idealwert. Aus der Perspektive des *Schutzes anthropogener Strukturen* sowie der *Schutzwürdigkeit* schneidet Insul West im Vergleich zu den anderen Standorten jedoch überdurchschnittlich gut ab.

Als Beispielfläche der Hochwasserrückhaltebecken ist in Abb. 13 Leimbach Süd (H-12) dargestellt. Auf der Drohnenaufnahme ist die Nähe zum Fließgewässer, dem Adenauer Bach, deutlich erkennbar. Dieser liegt eher flussaufwärts, weshalb diese Fläche eine optimale *Retentionslage* mit einer Eignung von 1 aufweist. Die *Raumstruktur* weist ebenfalls eine sehr gute Eignung von 0,95 auf. Ausschlaggebend sind die geringe *Hangneigung*, sowie die Unzerschnittenheit der Fläche. Geringere Eignungswerte haben die Kriterien *Schutzwürdigkeit* mit 0,58 und *Schutz anthropogener Strukturen* mit 0,4. Ein Grund ist die landwirtschaftliche Nutzung und die Nähe zur Bundesstraße 257, sowie zu Siedlungsflächen. Die führt zu einem durchschnittlichen gesamten Eignungswert von 0,67 dieser Fläche.

Ausweisung neuer Hochwasserrückhaltebecken: H-12 – Leimbach Süd

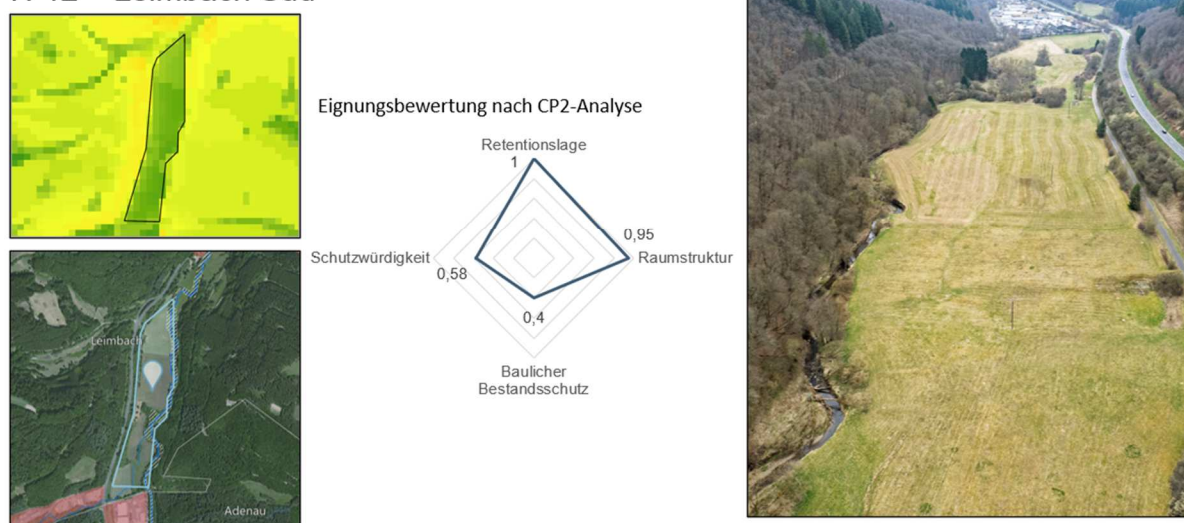


Abb. 13: Beispielfläche für Hochwasserrückhaltebecken - Leimbach Süd (H-12) (eigene Darstellung)

5.5 Starkregenanalyse

Im weiteren Verlauf wurde, um die Wirksamkeit der Retentionsbereiche zu überprüfen, eine Modellierung eines Starkregenereignisses mit vereinfachten potentiellen Hochwasserrückhaltebecken vorgenommen. Als Vergleichsmodell und Ausgangslage wurde die Starkregenanalyse, wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, durchgeführt. Um die Realisierung der ausgewiesenen Standorte für Hochwasserrückhaltebecken zu simulieren, wurden die ermittelten geeigneten Flächen im DGM um 15 m herabgesetzt (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft 2014: 11). Ziel dieser weiteren Analyse ist die Retentionswirkung der ausgewiesenen Flächen für Hochwasserrückhaltebecken unter gleichen Bedingungen des Extremwetterereignisses zu prüfen. Im Ergebnis wurde der gewünschte Effekt der erhöhten Retention mit einer Minderung der Pegelstände deutlich. In dem dargestellten Ausschnitt sind die gesenkten Pegelstände deutlich erkennbar (s. Abb. 14). Durch die Hochwasserrückhaltebecken der ausgewiesenen Flächen können die Pegelstände um bis zu 5 m reduziert werden. Des Weiteren wurden auch die überfluteten Bereiche, welche ab Pegelständen von über 0,5 m dargestellt sind, reduziert. Die durchgeführte Analyse steht stellvertretend für das Extremwetterereignis im Juli 2021, wenn auch räumliche Restriktionen, wie Brücken oder Gebäude, nicht in die Starkregenanalyse mit einbezogen wurden. Die Aussagekraft reicht aber dennoch aus, um den gewünschten Effekt der ausgewiesenen Flächen hinreichend darzustellen.

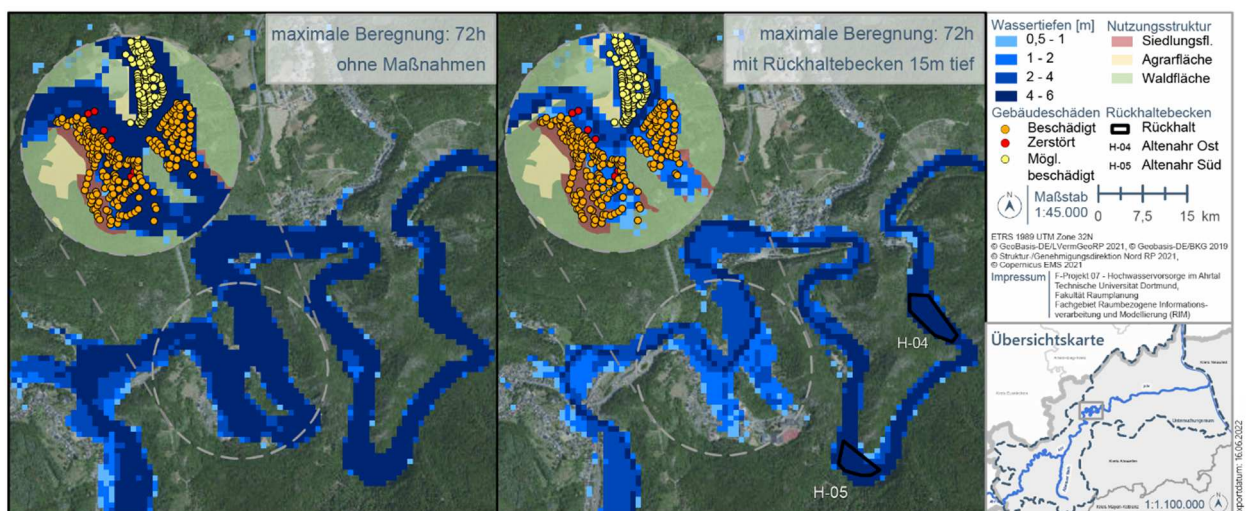


Abb. 14: Vergleich der Starkregenanalyse mit und ohne Hochwasserrückhaltebecken (eigene Darstellung)

6. Diskussion

Angesichts des dringenden Anlasses der Verbesserung der Hochwasser- und Überflutungsvorsorge im Ahrtal bietet die Forschungsarbeit eine Methodik, die objektiv, transparent und reliabel zur schnellen Identifizierung von potentiellen Flächen beiträgt. Mithilfe der multikriteriellen Bewertungsmethodik können die besten Kompromisslösungen aus einer Vielzahl an teilweise konkurrierenden Interessensansprüchen ermittelt werden. Die Fernerkundung mit regionalem Maßstab umfasst einen thematisch passenden weiträumigen Zusammenhang, dessen finalen Ergebnisse hinsichtlich ihrer kleinräumigen Unschärfe ausführlicher zu betrachten sind. Die ausgewiesenen Flächen zeigen aufgrund der Rastergröße keine parzellenscharfe Bereiche auf. Sie sind vielmehr potentielle Schwerpunktbereiche, welche im weiteren Verlauf eine zusätzliche Feldforschung und weitere Fachgutachten erfordern, in denen die tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort einbezogen werden sollten. Stellenweise können diese mit den verfügbaren und einbezogenen Daten nicht übereinstimmen. Hierbei ist insbesondere die Datenverfügbarkeit und -aktualität zu beachten. Ein Vorteil bietet die Nutzung von amtlichen und frei zugänglichen Geodaten, die eine einfache Reproduzierbarkeit auf andere Regionen ermöglicht.

Hinsichtlich des angewandten Kriterien- und Indikatorensystems ist zu beachten, dass die Indikatoren klar definiert und voneinander abzugrenzen sind. Durch ein Defizit der Datengrundlagen kann es dazu führen, dass nicht alle bei der Standortsuche relevanten Faktoren berücksichtigt werden können. Beispielsweise konnten bei der Eignungsbewertung für Hochwasserrückhaltebecken die vorhandenen Bodenpreise oder Eigentumsverhältnisse nicht einbezogen werden, obgleich diese für die Gesamtbewertung sowie die spätere Umsetzung relevant sind.

Ein weiterer relevanter Bestandteil der Bewertungsmethode bildet die Gewichtung des Kriterien- und Indikatorensystems, welche anhand der AHP-Methode mit Expert:inneninterviews ermittelt wurde. Dieses stellt ein geeignetes Verfahren zur schnellen wie einfachen Unterstützung bei der Entscheidungsfindung dar. Zu beachten gilt es, dass diese Einschätzungen stark von der jeweiligen Expertise geprägt sind, die das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Als Möglichkeit besteht der Einbezug weiterer Expertisen aus verschiedenen Disziplinen, um eine differenziertes Gewichtung zu ermöglichen.

Anschließend gilt es die durchgeführte Wirkungsabschätzung der Hochwasserrückhaltebecken mittels der Starkregenanalyse zu reflektieren. Wesentliche Erkenntnisse und eine effektive Wirkung konnten abgeschätzt werden, allerdings bildet die Niederschlagssimulation lediglich eine Modellierung, welche nicht alle Faktoren des Ausmaßes vom Ereignis 2021 aufzeigen konnte. Für eine detaillierte Rekonstruktion müssten unter Anderen Bauwerke in Gewässernähe wie Brücken, die im Hochwasserfall eine Barriere für den Durchfluss darstellen können, berücksichtigt werden. Des Weiteren konnte die Oberflächenrauigkeit nicht mit einbezogen werden. Trotzdem stellen die Ergebnisse der Starkregenanalyse eine Validierung der Forschungsergebnisse dar. Neben einem notwendigen Anpassungsbedarf der Gewichtung bildet das Bewertungssystem abschließend die Möglichkeit, einen universell auf andere Untersuchungsräume übertragbaren Ansatz darzustellen.

7. Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Forschungsprojekt entwickelte einen methodischen Ansatz zur GIS-basierten Standortsuche von Maßnahmen zur Hochwasser- und Überflutungsvorsorge im Ahrtal.

Neben der Identifizierung von Hochwasserrückhaltebecken zur Erhöhung der Retentionskapazität bilden Ausweisungen von Versiegelungsverbotzonen, welche Starkregen bedingte Überflutungen versuchen vorzubeugen, die zentralen Mittel. Um die erste Forschungsunterfrage „Anhand welcher Kriterien und Indikatoren lässt sich die Eignung von Flächen für Hochwasserrückhaltebecken und Versiegelungsverbotzonen bewerten?“ zu beantworten, wurde hierzu jeweils ein multikriterielles Bewertungssystem aufgestellt, welches mit elf Indikatoren für Hochwasserrückhaltebecken und drei für Versiegelungsverbotzonen versucht unterschiedliche Ansprüche bei der Eignung zu berücksichtigen. Mithilfe der aufgezeigten Analyse konnten hierzu zwölf Standorte für Hochwasserrückhaltebecken sowie acht potentielle Versiegelungsverbotzonen ermittelt werden. Hiermit wird auch die zweite Forschungsunterfrage „Welche Flächen eignen sich für die Maßnahmen Versiegelungsverbotzonen und Hochwasserrückhaltebecken?“ beantwortet. Die räumliche Verteilung der Maßnahmen erstreckt sich über den gesamten Untersuchungsraum in Fließgewässernähe. Eine vergleichsweise starke räumliche Ballung befindet sich zwischen Altenahr und Dernau. Während der „typische“ Retentionsbereich sich durch eine landwirtschaftliche Nutzungsstruktur mit einer 12,5 ha ausgewiesenen Fläche auszeichnet, bilden die vergleichsweise kleineren potentiellen Versiegelungsverbotzonen in der Gemeinde Altenahr einen Schwerpunktbereich.

Anhand der multikriteriellen Bewertungsmethodik konnten die verschiedenen Ansprüche der Maßnahmenausweisungen sowie möglichen Restriktionen ausgehend von bestehenden Strukturen einbezogen werden, um geeignete Flächen im Untersuchungsraum zu identifizieren. Das Ergebnis zielt daher auf eine Kompromisslösung zahlreicher Einflussfaktoren ab. Hinsichtlich der direkten Aussagekraft der Ergebnisse gilt allerdings zu berücksichtigen, dass der analytische Ansatz nicht alle in der Umsetzung relevanten Belange beinhalten kann, wodurch diese auch kritisch zu reflektieren sind. Viel stärker strebt die Forschungsarbeit an, auf regionaler Ebene schnell und transparent Bereiche für Potentialflächen zu ermitteln,

deren tatsächliche Realisierbarkeit und Ausgestaltung sich mit näheren Untersuchungen ermitteln lassen. Eine erste Betrachtung des möglichen Wirkungseffekts bei Realisierung der ermittelten Hochwasserrückhaltebecken konnte mit Hilfe einer vereinfachten Starkregenanalyse aufgezeigt werden.

Im weiteren Verlauf kann aufbauend auf diese Forschungsarbeit untersuchungsraumbezogen das Kriterien- und Indikatorensystem mit einer Sensitivitätsanalyse und weiteren Expert:inneninterviews ergänzt werden. Die zugrundeliegende Methodik kann als Fundament für die Entwicklung weiterer Forschungsarbeiten fungieren. Die reproduzierbare Methodik ermöglicht somit unter Anpassung der Gewichtung ebenfalls eine vorläufige Standortsuche für die ausgewählten Maßnahmen in anderen Regionen.

Literatur

- Ahmadisharaf, E.; Tajrishy, M.; Alamdari, N. (2016): Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. In: Journal of Environmental Planning and Management 59, 8, 1397-1417. doi: 10.1080/09640568.2015.1077104.
- Althaus, J.; Grunwald, N.; Kreuzer, V. (2009): Ortserkundung in der Raumplanung. Dortmund, 8-27.
- Baja, S.; Chapman, D. M.; Dragovich, D. (2007): Spatial based compromise programming for multiple criteria decision making in land use planning. In: Environmental Modeling & Assessment 12, 3, 171-184. doi: 10.1007/s10666-006-9059-1.
- Brinkmeyer, D.; Müller, R. A. E. (1996): Decision support with the AHP [Analytical hierarchy Process]. In: Zeitschrift für Agrarinformatik 2, 5, 82-92.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022): Produkte; Entwicklung; Freie Downloads. <http://www.bkg.bund.de> (18.06.2022).
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2014): Leitfaden Hochwasserrückhaltebecken. Grundsätze für Planung, Bau und Betrieb bei der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreich. Wien. <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wald/wald-und-naturgefahren/wildbach--und-lawinenverbauung/richtliniensammlung/hwrhb.html> (18.06.2022).
- Copernicus Emergency Management Service (2021): [EMSR517] Bad Neuenahr-Ahrweiler: Grading Product, Monitoring 1, version 3, release 1, RTP Map #03. https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems-product-component/EMSR517_AOI15_GRA_MONIT01_r1_RTP03/3 (28.11.2021).
- Emde, F.; Deutschländer, T.; Paulat, M.; Baumgarten, C.; Heer, A.; Hennegriff, W.; Reich, J.; Sailer, B.; Haller, B.; Simon, B.; Koch, M.; Schäfer, K.; Thumm, S.; Margan, S.; Buschhüter, E.; Menn, K.; Schernikau, R.; Gretzschel, M.; Schulz, S.; Philipp, A.; Frühwein, E.; Schmidt, B. (2018): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. In: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.). Erfurt, 9-43.

Esri Insider (2016): What is Collector for ArcGIS?.
<https://www.esri.com/about/newsroom/insider/what-is-collector-for-arcgis/>
(16.04.2022).

geomer GmbH/Ruiz Rodriguez+Zeisler+Blank (2017): FloodAreaHPC -Desktop.
ArcGIS-Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen.
Anwenderhandbuch. https://docplayer.org/37750752-Floodarea-und-floodarea-hpc-arcgis-erweiterung-zur-berechnung-von-ueberschwemmungsbereichen.html#show_full_text (18.06.2022).

Goll, A. (2022): Kommunalen Hochwasserschutz im Ahrtal. <https://www.treffpunkt-kommune.de/kommunaler-hochwasserschutz-im-ahrtal/> (10.06.2022).

Haider, S. (1994): Der Beitrag von Vorlandüberflutungen zur Verformung von Hochwasserwellen. In: Vischer, D. (Hrsg.): Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie 128, 94.

Haider, S. (2014): Retention in unseren Flüssen: Prozessbeschreibung und aktuelle Fragen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 2014, 1-2, 59-63.

Illgen, M. (2017): Starkregen und urbane Sturzfluten – Handlungsempfehlungen zur kommunalen Überflutungsvorsorge. In: Porth, M.; Schüttrumpf, H. (Hrsg.): Wasser, Energie und Umwelt. Wiesbaden, 20-30. doi: 10.1007/978-3-658-15922-1_3.

Junghänel, T.; Bissolli, P.; Daßler, J.; Fleckenstein, R.; Imbery, F.; Janssen, W.; Kaspar, F.; Lengfeld, K.; Leppelt, T.; Rauthe, M.; Rauthe-Schöch, A.; Rocek, M.; Walawender, E.; Weigl, E. (2021): Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. In: Deutscher Wetterdienst.
https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.html (18.06.2022).

Kailitz, S. (2013): Diagnose Hochwasserdemenz.
https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2013-06/hochwasser-hochwasserschutz-flut?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (06.12.2021).

- Kreisverwaltung Ahrweiler (2021): Hochwasserpartnerschaft "Ahr" - Startschuss für gemeinsames Konzept. <https://kreis-ahrweiler.de/hochwasserpartnerschaft-ahr-startschuss-fuer-gemeinsames-konzept/> (03.05.2022).
- Lantzsch, P. (2005): Untersuchungen zur Kennzeichnung (Darstellung) von Böden der Natur- und Kulturgeschichte nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz in Brandenburg. Potsdam.
- Malcherek, A. (2019): Hochwasser. In: Malcherek, A. (Hrsg.): Fließgewässer. Hydraulik, Hydrologie, Morphologie und Wasserbau. Wiesbaden, 397-436. doi: 10.1007/978-3-658-27000-1.
- Malczewski, J. (2004): GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. In: Progress in Planning 62, 1, 3-65. doi: 10.1016/j.progress.2003.09.002.
- Ministerium des Innern und für Sport des Landes Rheinland-Pfalz (2021): Ausblick Ahr. Der Wiederaufbau im Ahrtal soll so gestaltet werden, dass die Menschen künftig sicherer in ihrer Heimat leben. <https://wiederaufbau.rlp.de/de/themen/ausblick-ahr/> (10.06.2022).
- Moosmann, L.; Schröder, M.; Classen, N.; Meininger, F.; Lotyschew, D. (2018): Leitfaden zur Versickerungspotentialkarte. Hamburg Wasser. <https://www.hamburg.de/planungskarten/4130764/versickerungspotentialkarte/> (18.06.2022).
- Müller, U. (2010): Hochwasserrisikomanagement. Theorie und Praxis. Wiesbaden, 7-15; 203; 223; 265; 325. doi: 10.1007/978-3-8348-9729-9.
- Nadler, M; Spieß, F.; Müller, G. (2018): Landeignungsprüfung in prosperierenden Großstädten. Ein GIS-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem für Unternehmensimmobilienentwicklungen in der Stadt Düsseldorf. In: Raumforschung und Raumordnung 76, 5, 437-460. doi: 10.1007/s13147-018-0545-0.
- Neukirchen, F.; Ries, G. (2016): Die Welt der Rohstoffe. Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Berlin.
- Prodanovic, P. (2001): Fuzzy Set Ranking Methods and Multiple Expert Decision Making. <https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1001&context=wrrr> (18.06.2022).

- Prominski, M.; Stokman, A.; Stimberg, D.; Voermanek, H.; Zeller, S. (2012): Fluss.Raum.Entwerfen: Planungsstrategien für urbane Fließgewässer. Basel, 94.
- Saaty, T. (1990): Multicriteria decision making: The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh.
- Schaefer, M; Thinh, N.X. (2019): Evaluation of Land Cover Change and Agricultural Protection Sites: A GIS and Remote Sensing Approach for Ho Chi Minh City, Vietnam. TU Dortmund University. Department of Spatial Information Management and Modelling. Dortmund, 8.
- Schäfer, A.; Mühr, B.; Daniell, J.; Ehret, U.; Ehmele, F.; Küpfer, K.; Brand, J.; Wisotzky, C.; Skapski, J.; Rentz, L.; Mohr, S.; Kunz, M. (2021): Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland). 21. Juli 2021 – Bericht Nr. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“.
- Schanze, J.; Thinh, N. X.; Walz, U.; Ferencsik, I.; Göncz, A. (2004): Suitability of compromise programming as a land use optimisation approach considering ecological aspects. Dresden.
- Schwägerl, C. (2021): Ahrtal: "Alles auf den Prüfstand stellen, um weiteren Katastrophen vorzubeugen".
<https://www.riffreporter.de/de/umwelt/hochwasser-ueberschwemmung-ahr-tal-ursachen> (01.12.2021).
- Thinh, N. X. (2005): Entwicklung von mathematisch-geoinformatischen Methoden und Modellen zur Analyse, Bewertung, Simulation und Entscheidungsunterstützung in Städtebau und Stadtökologie. Rostock.
- Umweltbundesamt (2022): Renaturierungsmaßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustandes.
<https://www.umweltbundesamt.de/renaturierungsmassnahmen-zur-verbesserung-des?sprungmarke=profil#profil> (19.06.2022).
- Umweltministerkonferenz (2016): Ergebnisprotokoll. 86. Umweltministerkonferenz am 17. Juni 2016 in Berlin, 64.
https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/umk-protokoll_juni_2016_1522236592.pdf (20.07.2022).

- Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin.
- Zeleny, M. (1976): Multiple Criteria Decision Making Kyoto 1975. Berlin.
- Zeleny, M. (1982): Multiple Criteria Decision Making. New York.
- Zölitz, R. (2016): Landschaftsbewertung. In: Riedel, W.; Lange, H.; Jedicke, E.; Reinke, M. (Hrsg.): Landschaftsplanung. Berlin, 134.

Anhang

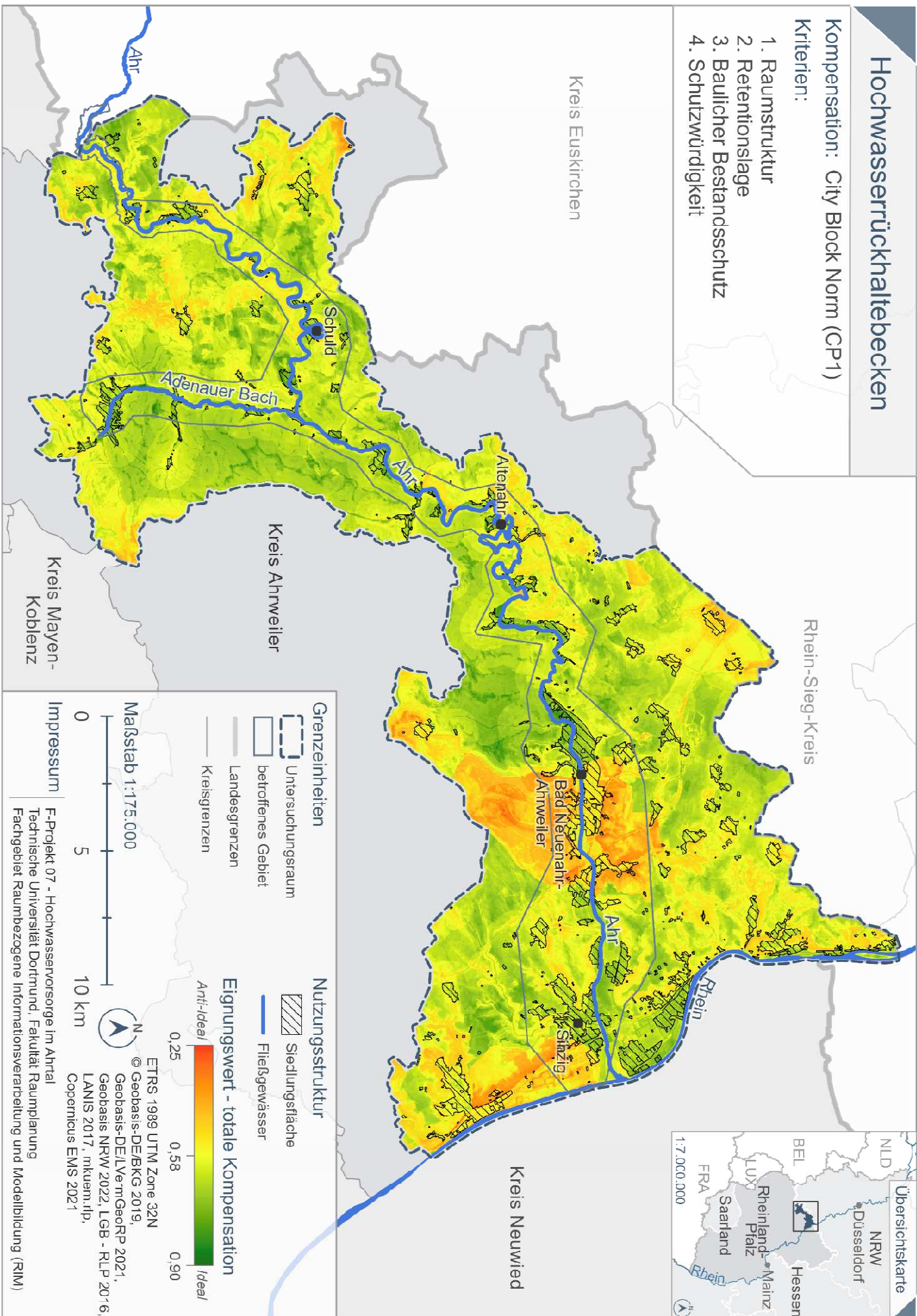
1. Hochwasserrückhaltebecken	II
1.1. Hochwasserrückhaltebecken CP 1	II
1.2. Hochwasserrückhaltebecken CP 10	III
1.3. Hochwasserrückhaltebecken CP 2	IV
1.3.1. Kriterium Raumstruktur.....	V
1.3.2. Kriterium Retentionslage	XII
1.3.3. Kriterium Schutz anthropogener Strukturen	XIX
1.3.4. Kriterium Schutzwürdigkeit	XXX
2. Versiegelungsverbotzonen.....	XXXIX
2.1. Versiegelungsverbotzonen CP 1	XXXIX
2.2. Versiegelungsverbotzonen CP 10	XL
2.3. Versiegelungsverbotzonen CP 2.....	XLI
2.3.1. Kriterium Räumliche Gegebenheiten.....	XLII
2.3.2. Kriterium Gefährdungspotential.....	XLIX
3. AHP-Berechnung zur Bestimmung der Ergebnisse	LIII
3.1. Gewichtung „Flächen für Hochwasserrückhaltebecken“ – Expertise A.....	LIII
3.2 Gewichtung „Flächen für Hochwasserrückhaltebecken“ – Expertise B.....	LV
3.3 Gewichtung „Versiegelungsverbotzonen“ – Expertise B	LVII
4. Tabellen	LVIII
4.1. Verwendete ATKIS-Objektarten zur Bearbeitung des Indikators Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen (aus AdV: 2018).....	LVIII
4.2. Hemerobieklassifikation der Flächennutzungen im Untersuchungsraum.....	LIX
4.3. Versiegelungsgrad von Flächennutzungen	LXII
Teilnehmerliste	LXIII

Hochwasserrückhaltebecken

Kompensation: City Block Norm (CP1)

Kriterien:

1. Raumstruktur
2. Retentionslage
3. Baulicher Bestandsschutz
4. Schutzwürdigkeit



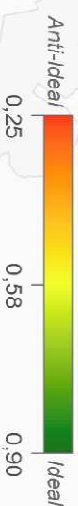
Grenzeinheiten

- Untersuchungsraum
- betroffenes Gebiet
- Landesgrenzen
- Kreisgrenzen

Nutzungsstruktur

- Siedlungsfläche
- Fließgewässer

Eignungswert - totale Kompensation



Maßstab 1:175.000



ETRS 1989 UTM Zone 32N
© Geobasis-DE/BKG 2019,
Geobasis-DE/LVermGeoRP 2021,
Geobasis NRW 2022, LGB - RLP 2016,
LANIS 2017, mkuen.rlp,
Copernicus EMS 2021

Impressum

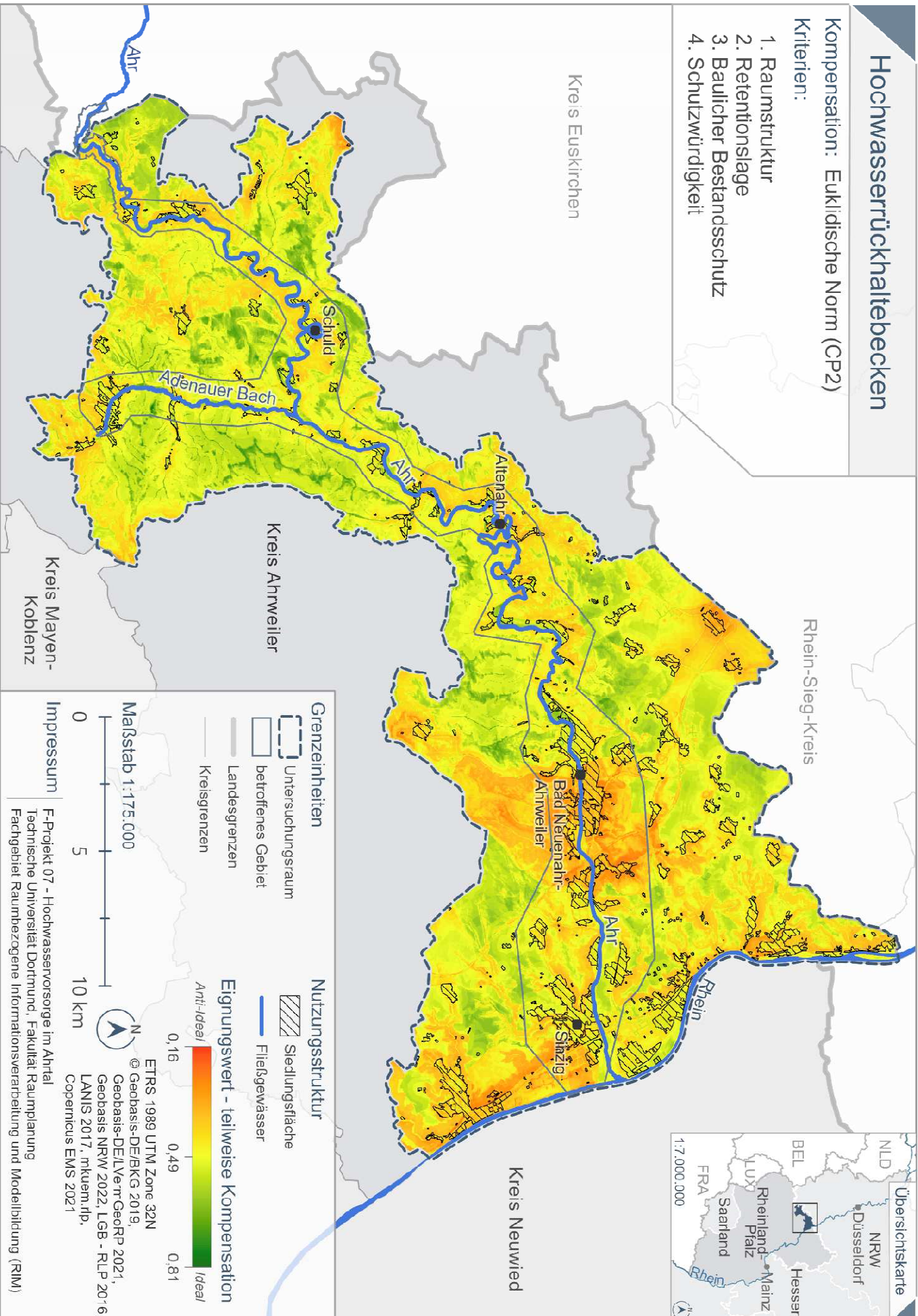
F-Projekt 07 - Hochwasservorsorge im Ahrtal
Technische Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung
Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung (RIM)

Hochwasserrückhaltebecken

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

Kriterien:

1. Raumstruktur
2. Retentionslage
3. Baulicher Bestandsschutz
4. Schutzwürdigkeit

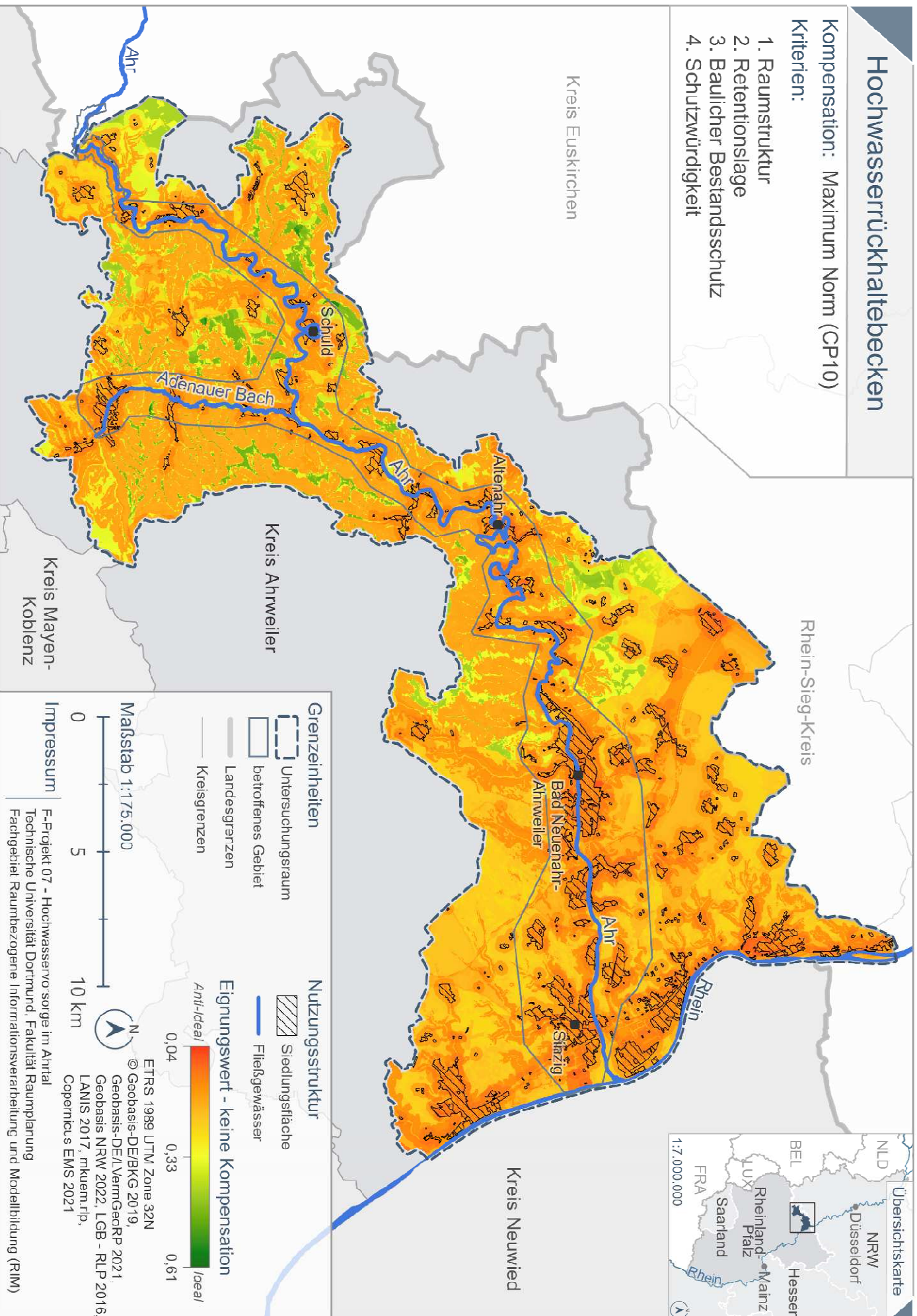


Hochwasserrückhaltebecken

Kompensation: Maximum Norm (CP10)

Kriterien:

1. Raumstruktur
2. Retentionslage
3. Baulicher Bestandsschutz
4. Schutzwürdigkeit



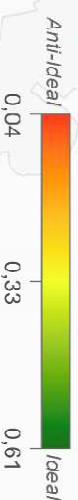
Grenzeinheiten

- Untersuchungsraum
- betroffenes Gebiet
- Landesgrenzen
- Kreisgrenzen

Nutzungsstruktur

- Siedlungsfläche
- Fließgewässer

Eignungswert - keine Kompensation



Maßstab 1:175.000



ETRS 1989 UTM Zone 32N
© Geobasis-DE/BKG 2019,
Geobasis-DE/IVermGeoRP 2021
Geobasis NRW 2022, LGB - RLP 2016,
LANIS 2017, mkuem.rlp,
Copernicus EMS 2021

Impressum

F-Projekt 07 - Hochwasservo: sorge im Ahrtal
Technische Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung
Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung (RIM)

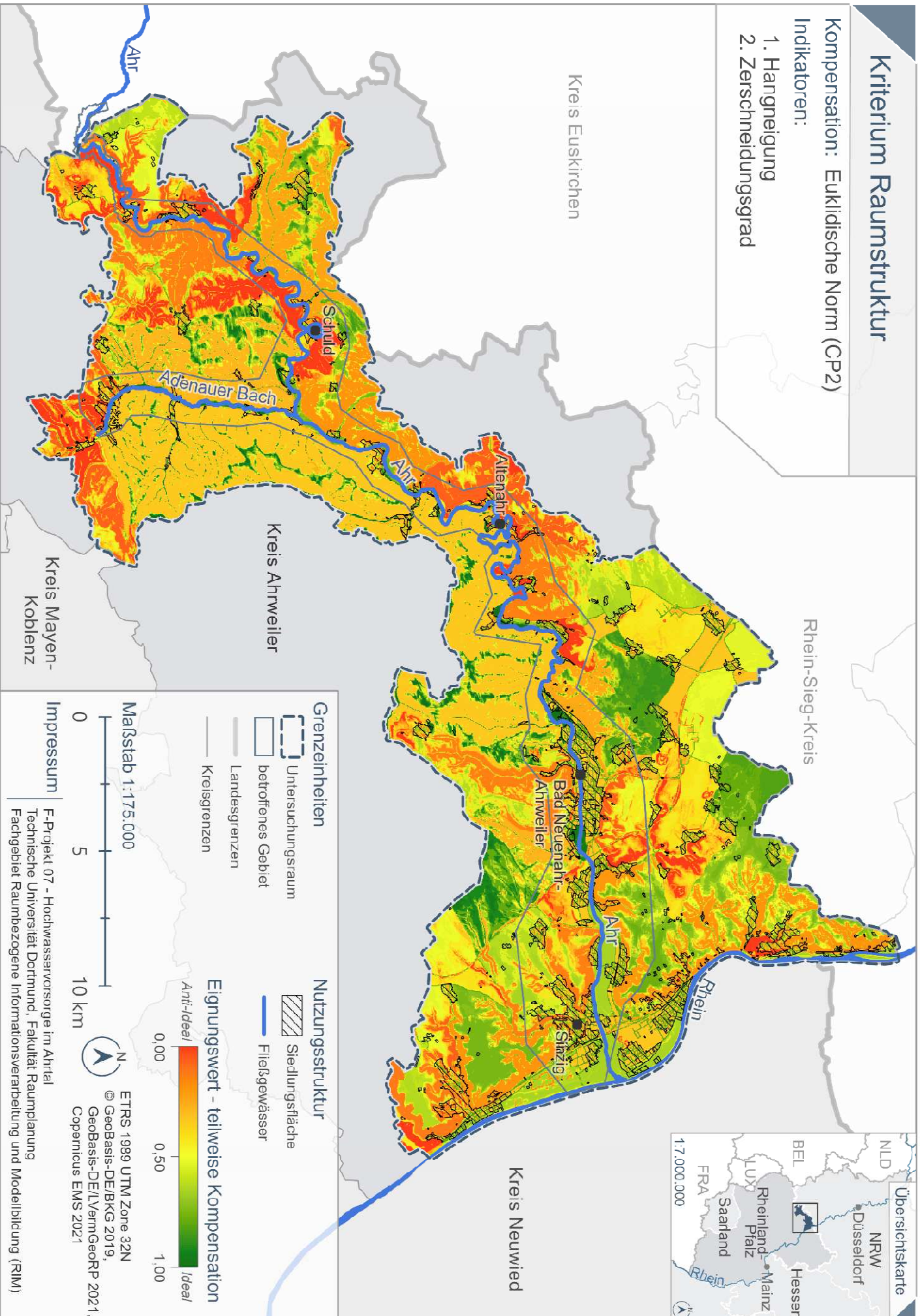
Exportdatum: 21.06.2022

Kriterium Raumstruktur

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

Indikatoren:

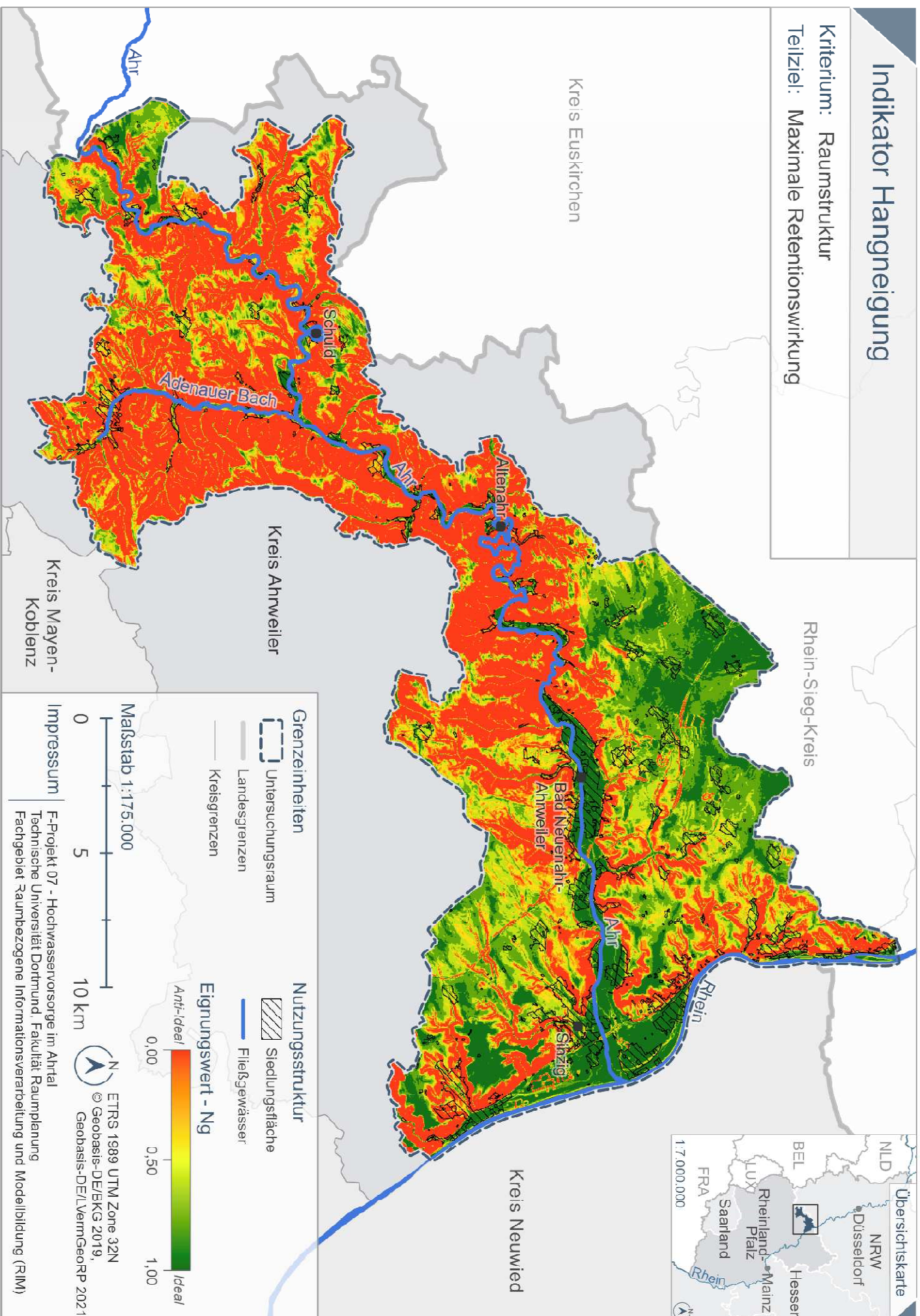
1. Hangneigung
2. Zerschneidungsgrad



Indikator Hangneigung

Kriterium: Raumstruktur

Teilziel: Maximale Retentionswirkung



Exportdatum: 17.06.2022

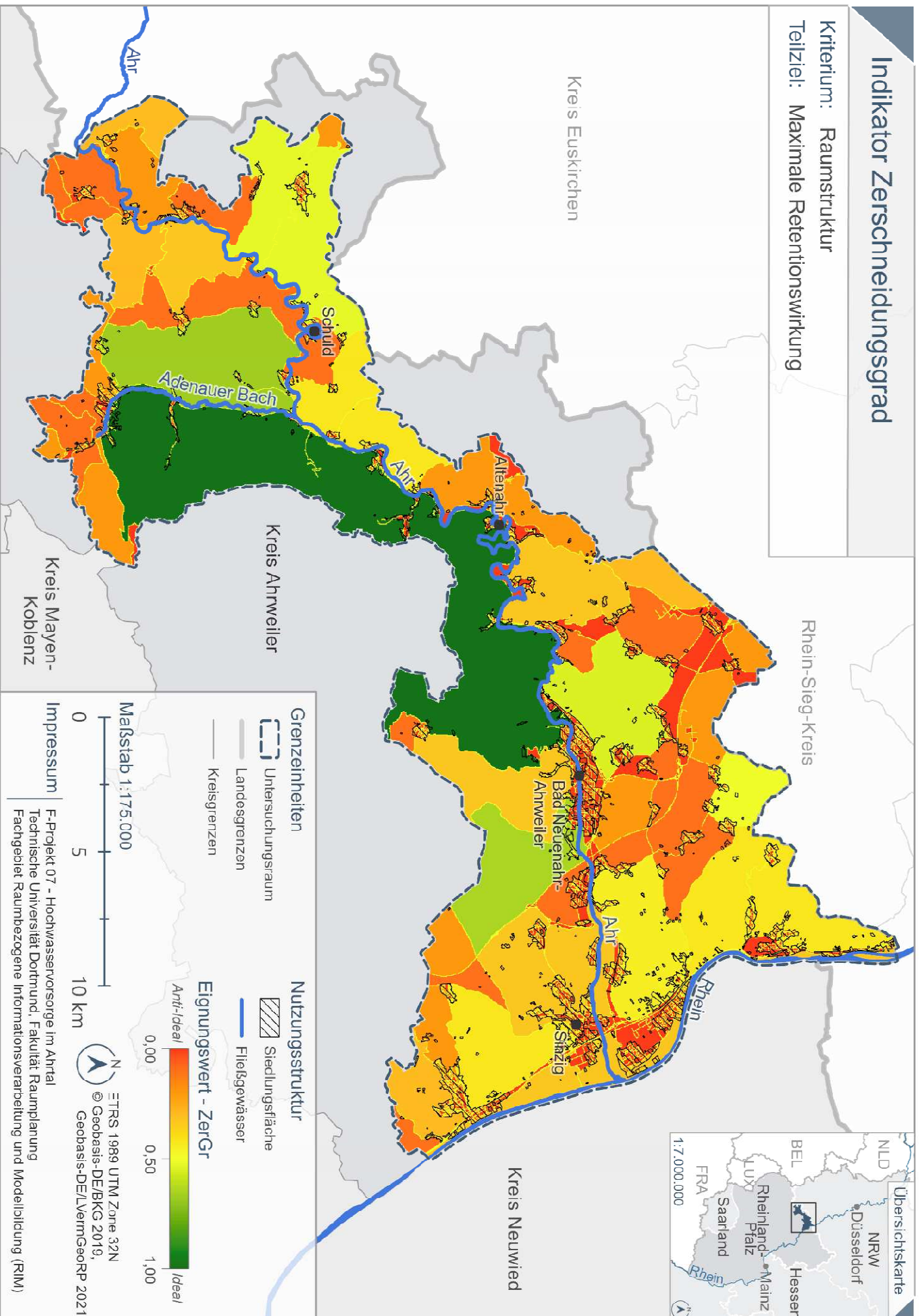
Indikator	Hangneigung			
	Nummer	1.1	Kriterium	Raumstruktur
	Abkürzung	Ng	(Teil-) / Unterziel	Maximale Retentionswirkung
Beschreibung	Der Indikator beschreibt die Neigung des Geländes. Die Neigung wird in Grad angegeben.			
Funktions- eignung / Begründung	Ein flaches Gelände eignet sich zur optimalen Gestaltung eines Hochwasserrückhaltebeckens, um Wasser aufzufangen und Wassermengen langfristig speichern zu können.			
Auswirkungen	Ein geeigneter Standort für die Wahl des Retentionsbeckens sollte möglichst flach sein.			
Methode	Die Neigung des Geländes wurde zunächst mithilfe des DGM25 berechnet. Die Klassifikation und die Einteilung der Grenzwerte orientierten sich am Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung. Diese Einteilung wurde jedoch aufgrund der Erkenntnisse der Feldforschung überarbeitet und an das Untersuchungsgebiet angepasst. Dabei wurde die Neigung der Flächen, die im Rahmen der Feldforschung aufgrund ihrer zu hoch erscheinenden Neigung als nicht geeignet eingestuft wurden als neuer Anti-Idealwert gesetzt. Im Weiteren wurden sechs gleich große Klassen gebildet, denen Eignungswerte zugeordnet wurden.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Ahmadisharaf, E.; Tajrishy, M.; Alamdari, N. (2016): Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. In: Journal of Environmental Planning and Management 59, 8, 1397–1417. doi: 10.1080/09640568.2015.1077104. Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung/Julius Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (2017): Hangneigung. https://flf.julius-kuehn.de/webdienste/webdienste-des-flf/hangneigung.html (19.06.2022).			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Geländemodell 25 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Neigung [°]	
0 - 2	1
2 - 4	0,8
4 - 6	0,6
6 - 8	0,4
8 - 10	0,2
> 10	0

Indikator Zerschneidungsgrad

Kriterium: Raumstruktur

Teilziel: Maximale Retentionswirkung



Indikator	Zerschneidungsgrad			
	Nummer	1.2	Kriterium	Raumstruktur
	Abkürzung	ZerGr	(Teil-) / Unterziel	Maximale Retentionswirkung
Beschreibung	Der Zerschneidungsgrad stellt die Zerteilung der Landschaft durch von Menschen geschaffene linienhafte Infrastrukturen, wie Straßen oder Bahnschienen, dar. Dies hat Einfluss auf den natürlichen Haushalt von Flora und Fauna und beeinträchtigt diese enorm.			
Funktions- eignung / Begründung	Zur Erzielung einer starken Retentionswirkung sind große unzerschnittene Flächen nötig. Lediglich große Flächen sind für eine Realisierung von Retentionsmaßnahmen geeignet.			
Auswirkungen	Große, unzerschnittene Flächen wirken sich positiv auf die Eignung der Fläche aus.			
Methode	Der Indikator wird durch die Beziehung zwischen den Flächeninhalten und den Inkreisradien der Flächen bestimmt. Dafür werden für beide Parameter Datensätze erstellt. Für die Normalisierung der Eignungswerte werden dann die Datensätze des Flächeninhaltes und den Inkreisradien addiert und durch 200 dividiert. Die Klassifikation erfolgte auf Grundlage von Walz und Schuhmacher 2005, wobei eigene Grenzwerte definiert wurden.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin. Walz, U.; Schumacher, U. (2005): Landscape Fragmentation in the Free State of Saxony and the Surrounding Border Areas. In: Hřebíček, J.; Ráček, J. (Hrsg.): EnviroInfo Brno 2005. Informatics for Environmental Protection. Networking Environmental Information, 755.			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

Klassifikation Flächeninhalt [km ²]	Eignungswert
0 - 6	0
6 - 12	25
12 - 18	50
18 - 24	75
Über 24	100

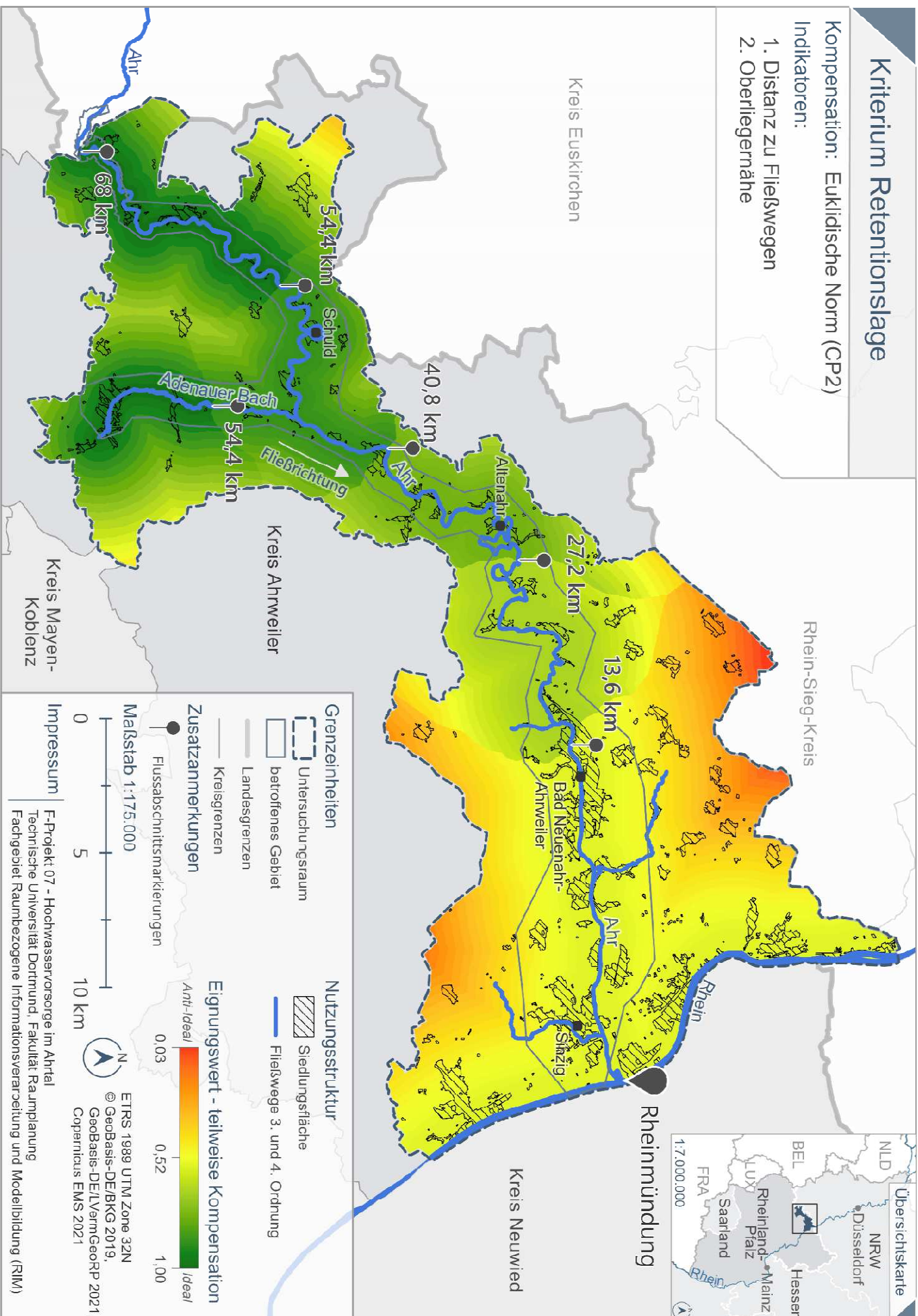
Klassifikation Inkreisradien [Radius in m]	Eignungswert
0 - 500	0
500 - 1000	25
1000 - 1500	50
1500 - 2000	75
Über 2000	100

Kriterium Retentionslage

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

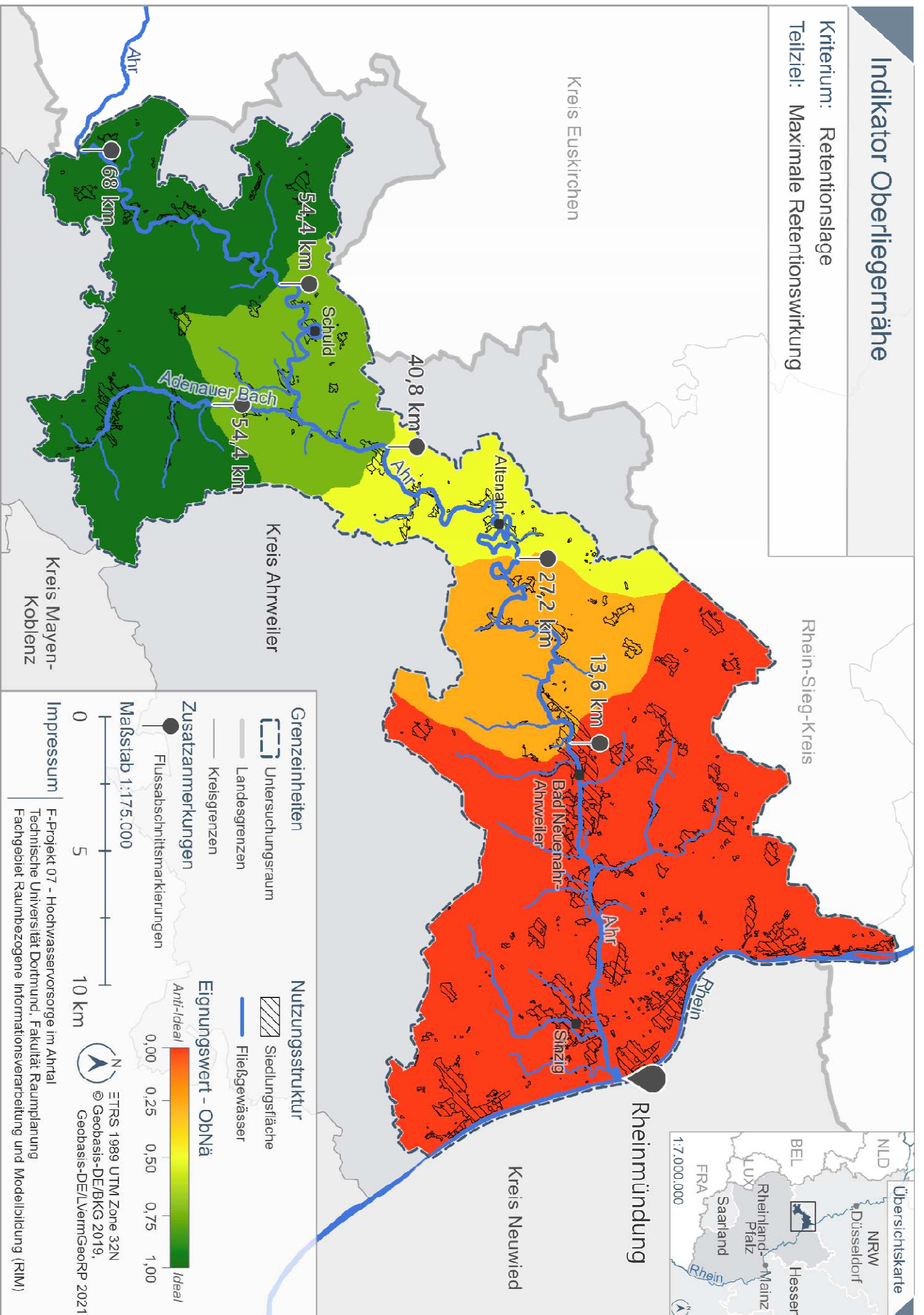
Indikatoren:

1. Distanz zu Fließwegen
2. Oberliegernähe



Indikator Oberliegernähe

Kriterium: Retentionslage
Teilziel: Maximale Retentionswirkung

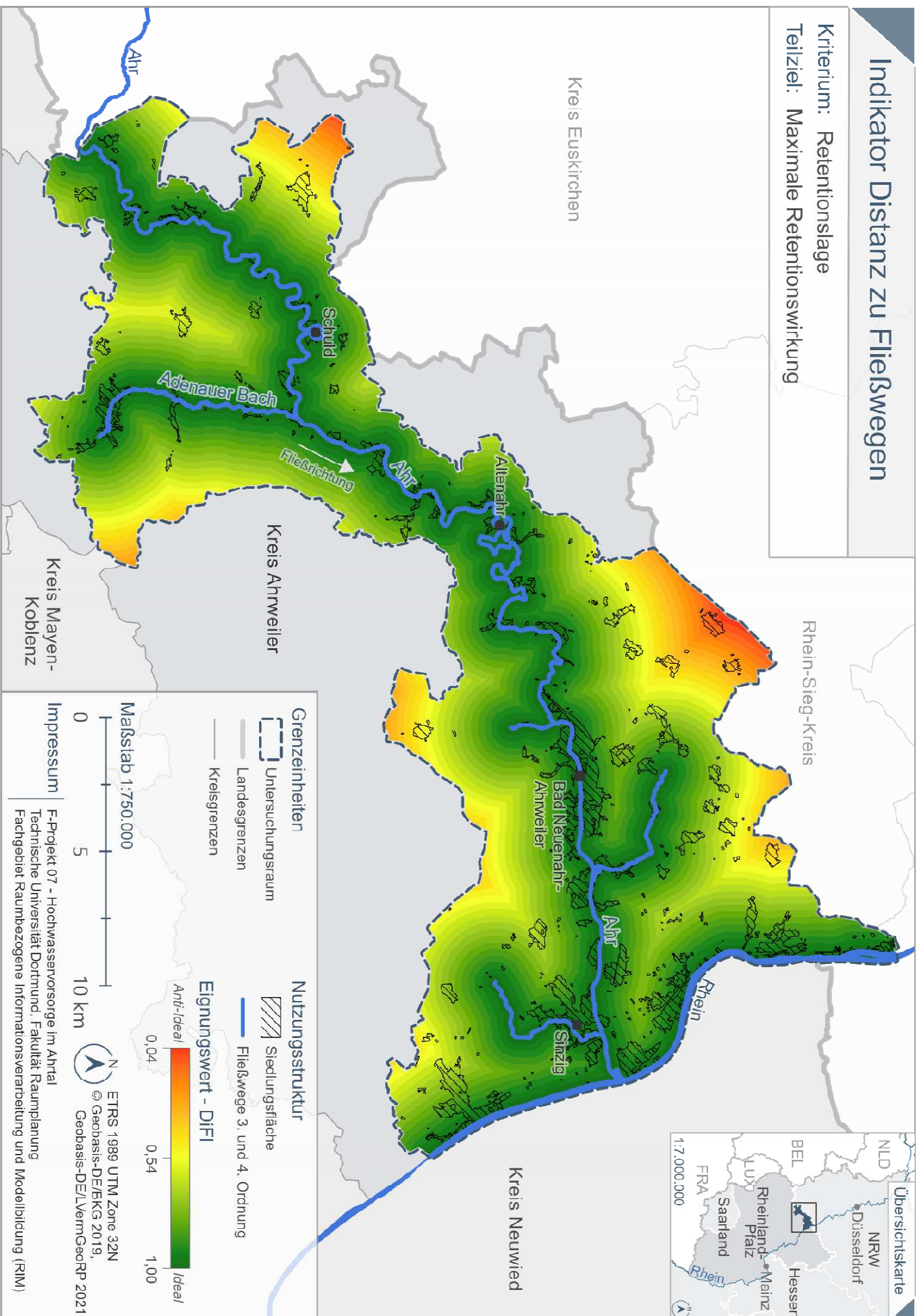


Indikator	Oberliegernähe			
	Nummer	1.3	Kriterium	Retentionslage
	Abkürzung	ObNä	(Teil-) / Unterziel	Maximale Retentionswirkung
Beschreibung	Der Indikator Oberliegernähe beschreibt die Lage eines Standortes entlang des Flussverlaufs. Hierbei wird das Fließgewässer unter Berücksichtigung der ersten bis dritten Ordnungszahl (nach Strahler) zwischen Quellort und Einmündung in mehrere Abschnitte unterteilt. In dieser Forschungsarbeit dient die administrative Grenze des Landkreises Ahrweiler sowie die Einmündung der Ahr in den Rhein als zu unterteilenden Flussabschnitt.			
Funktions-eignung / Begründung	Je weiter ein Rückhaltebecken flussaufwärts realisiert wird, desto länger ist der Abschnitt des von der Retentionswirkung beeinflussten unteren Flussabschnitts, wodurch eine größere Anzahl an Unterliegern geschützt wird.			
Auswirkungen	Eine große Distanz zur Rheinmündung wirkt sich positiv auf die Eignung der Fläche aus.			
Methode	Anhand der Gesamtlängenberechnung der Ahr von Rheinmündung bis Landkreisgrenze Ahrweiler (68 km) kann der Fluss in gleich lange Abschnitte (jeweils 13,6 km) unterteilt werden, dessen in diesem Bereich mündende Fließwege zusammengefasst werden können. Im nächsten Schritt lassen sich jede Fläche des Untersuchungsraums zum nächstgelegenen Flussabschnitt räumlich zuordnen, wodurch sich die Fließweglänge auf den Raum projizieren lässt.			
Skalenniveau	metrisch			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin.			
Datenbasis	ATKIS – Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

Klassifikation / Grenzwerte Abschnitt (Entfernung [m] zur Rheinmündung)	normalisierter Eignungswert
0 – 13.600	0
13.600 – 27.200	0,25
27.200 – 40.800	0,5
40.800 – 54.400	0,75
54.400 – 68.000	1

Indikator Distanz zu Fließwegen

Kriterium: Retentionslage
Teilziel: Maximale Retentionswirkung



Exportdatum: 17.06.2022

Indikator	Distanz zu Fließwegen			
	Nummer	1.4	Kriterium	Retentionslage
	Abkürzung	DiFI	(Teil-) / Unterziel	Maximale Retentionswirkung
Beschreibung	Der Indikator beschreibt die Entfernung eines Punkts im Untersuchungsraum zur nächstgelegenen Stelle eines Fließweges der 3. oder 4. Ordnung nach Strahler.			
Funktions- eignung / Begründung	Eine Realisierung von Hochwasserrückhaltebecken in der Nähe zu Fließwegen hat vor allem hydraulische wie auch monetäre Gründe. So kann zum einen durch die direkte Nähe eine frühzeitige Retentionswirkung erzielt und zum anderen Kosten für zusätzliche Zu- und Abflusswerke sowie weiteren Baumaßnahmen gespart werden.			
Auswirkungen	Eine geringe Distanz zum Fließweg wirkt sich positiv auf die Eignung der Fläche aus.			
Methode	Der Indikator wird durch die euklidische Distanz zu einem Fließweg 3. oder 4. Ordnung nach Strahler bewertet.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin.			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

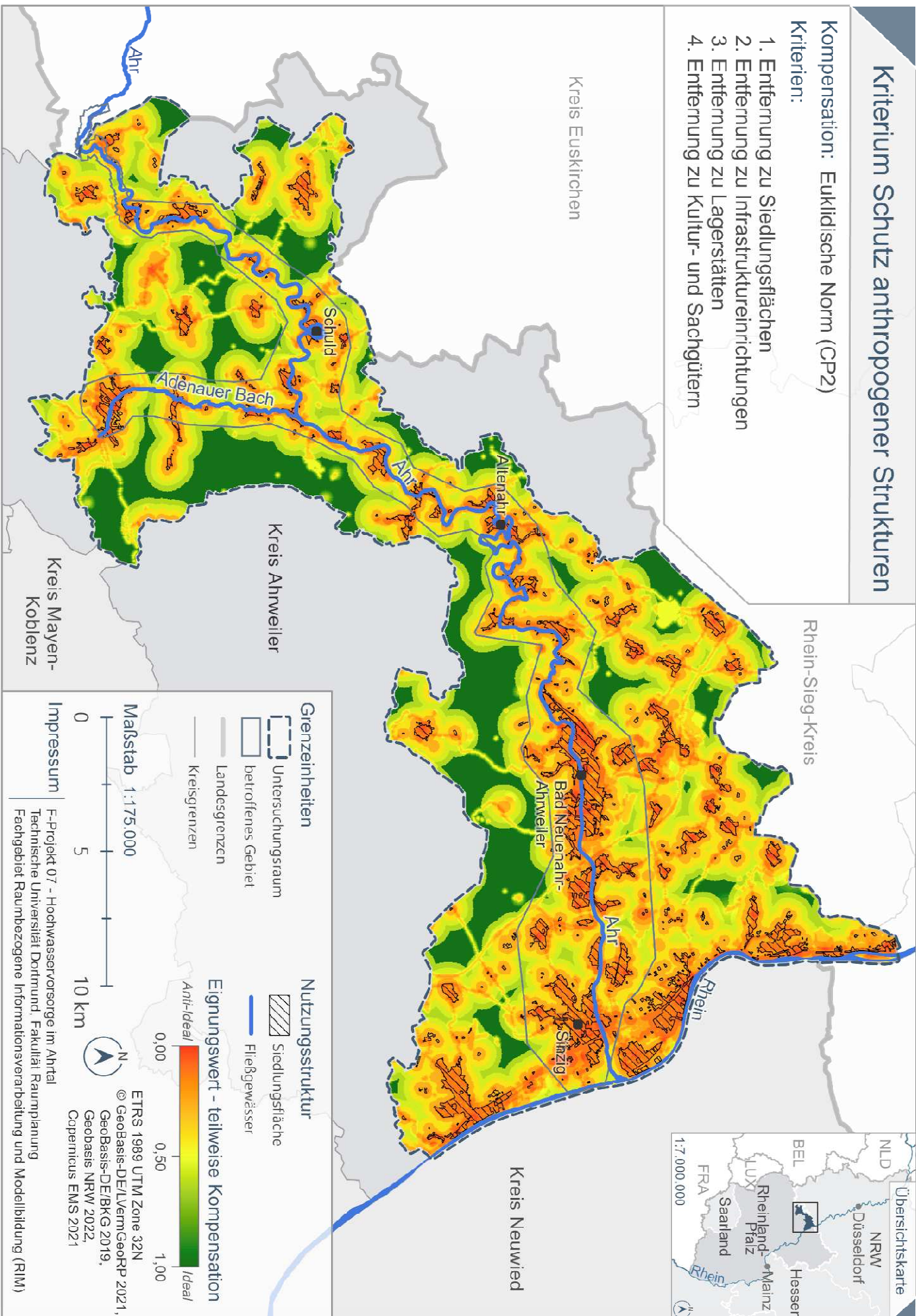
Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Entfernung [m] zum Fließweg	
0 - 249	1
249 - 498	0,96
498 - 747	0,92
747 - 996	0,88
996 - 1245	0,84
1245 - 1494	0,80
1494 - 1743	0,76
1743 - 1992	0,72
1992 - 2241	0,68
2241 - 2490	0,64
2490 - 2739	0,60
2739 - 2988	0,56
2988 - 3237	0,52
3237 - 3486	0,48
3486 - 3735	0,44
3735 - 3984	0,40
3984 - 4233	0,36
4233 - 4482	0,32
4482 - 4731	0,28
4731 - 4980	0,24
4980 - 5229	0,20
5229 - 5478	0,16
5478 - 5727	0,12
5727 - 5976	0,8
5976 - 6225	0,4

Kriterium Schutz anthropogener Strukturen

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

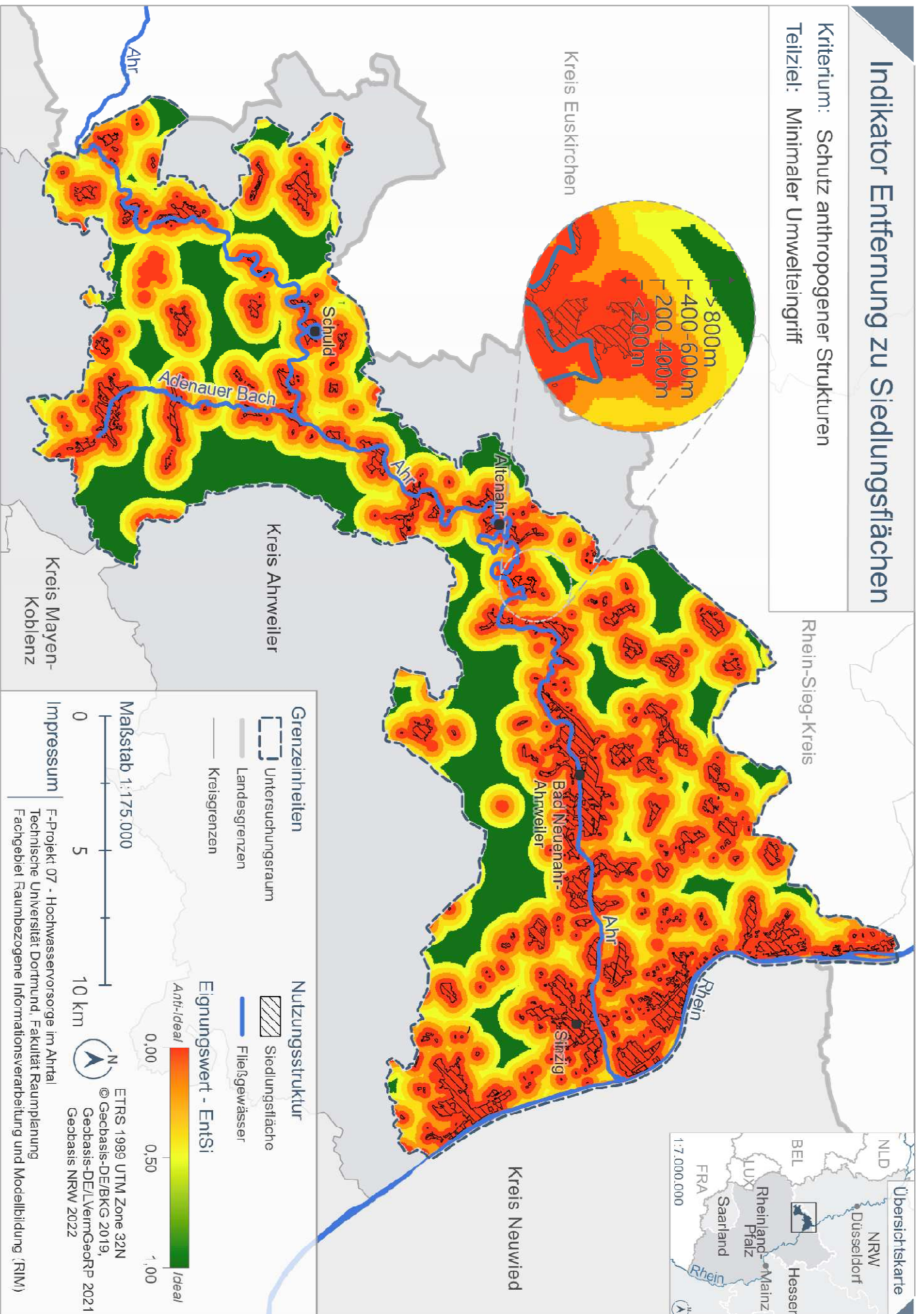
Kriterien:

1. Entfernung zu Siedlungsflächen
2. Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen
3. Entfernung zu Lagerstätten
4. Entfernung zu Kultur- und Sachgütern



Indikator Entfernung zu Siedlungsflächen

Kriterium: Schutz anthropogener Strukturen
Teilziel: Minimaler Umwelteingriff



Exportdatum: 27.07.2022

Indikator	Entfernung zu Siedlungsflächen			
	Nummer	1.5	Kriterium	Schutz anthropogener Strukturen
	Abkürzung	EntSi	(Teil-) / Unterziel	Minimaler Umwelteingriff
Beschreibung	Der Indikator bezieht sich auf die Entfernung eines Hochwasserrückhaltebeckens zu vom Menschen genutzter Bausubstanz im Falle eines Hochwasserereignisses.			
Funktions-eignung / Begründung	Die Entfernung von Hochwasserrückhaltebecken zu Siedlungsflächen dient dem Schutz des Menschen und der Erhaltung der Wohn- und Wohnumfeldfunktion bei Hochwasserereignissen und dem Versagen technischer Schutzmaßnahmen während eines Hochwasserereignisses.			
Auswirkungen	Eine größere Entfernung zu Siedlungsflächen wirkt sich positiv auf die Eignung einer Fläche für Hochwasserrückhaltebecken aus.			
Methode	Bei dem Indikator wird die euklidische Distanz des Hochwasserrückhaltebeckens zu Siedlungsflächen betrachtet.			
Skalenniveau	rational			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin.			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz) ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW)			

Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Entfernung zu Siedlungsflächen [m]	
< 200	0
200 - 400	0,2
400 - 600	0,4
600 - 800	0,5
> 800	1,0

Indikator Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen

Kriterium: Schutz anthropogener Strukturen
Teilziel: Minimaler Umwelteingriff

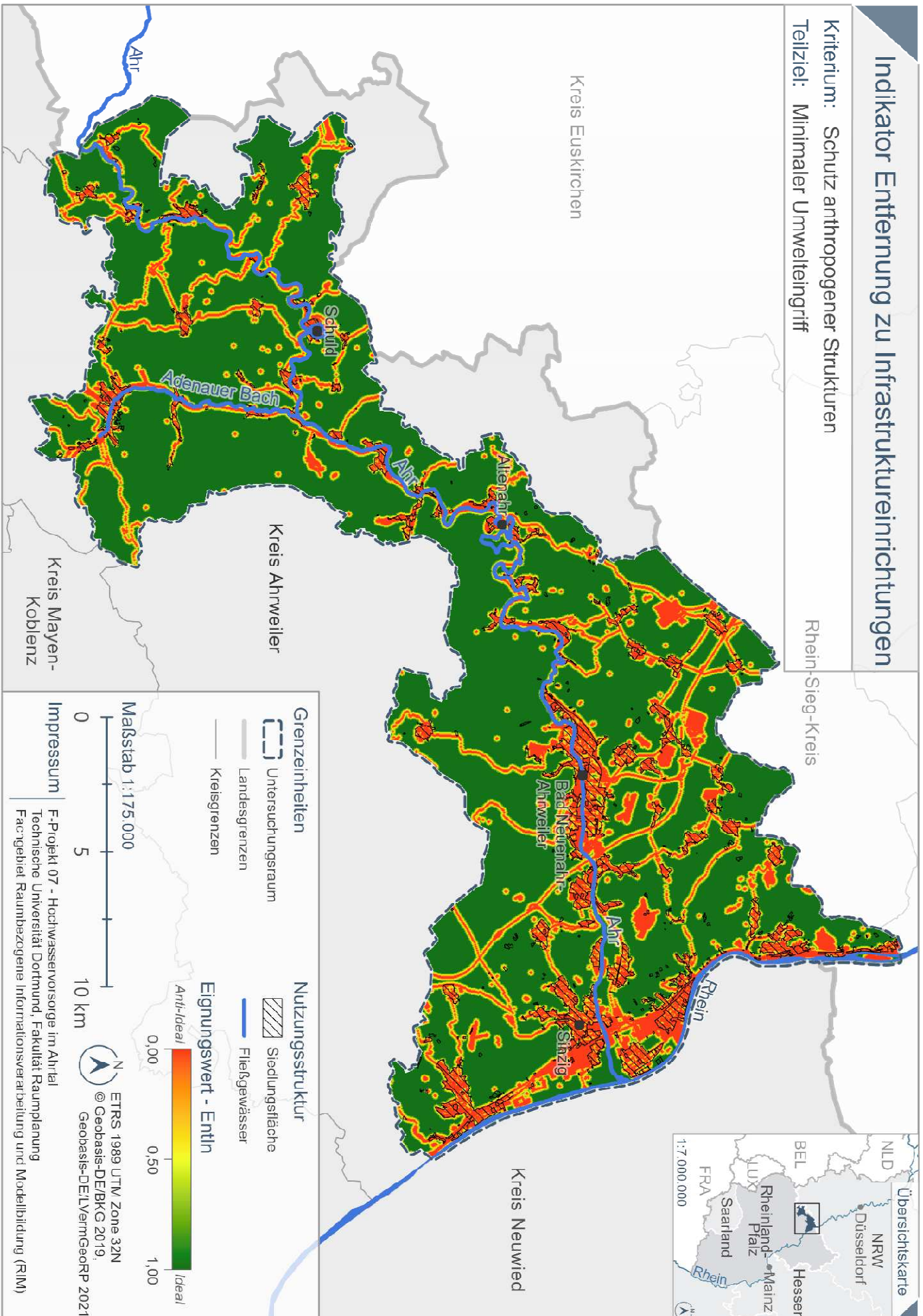
Rhein-Sieg-Kreis

Kreis Euskirchen

Kreis Neuwied

Kreis Ahrweiler

Kreis Mayen-Koblenz



Grenzeinheiten

Untersuchungsraum

Landesgrenzen

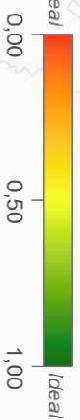
Kreisgrenzen

Nutzungsstruktur

Siedlungsfläche

Fließgewässer

Eignungswert - Entln



Maßstab 1:175.000



ETRS 1989 UTM Zone 32N
© Geobasis-DE/BKG 2019,
Geobasis-DE/LVermGeoRP 2021

Impressum

F-Projekt 07 - Hochwasservorsorge im Ahrtal
Technische Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung
Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung (RIM)

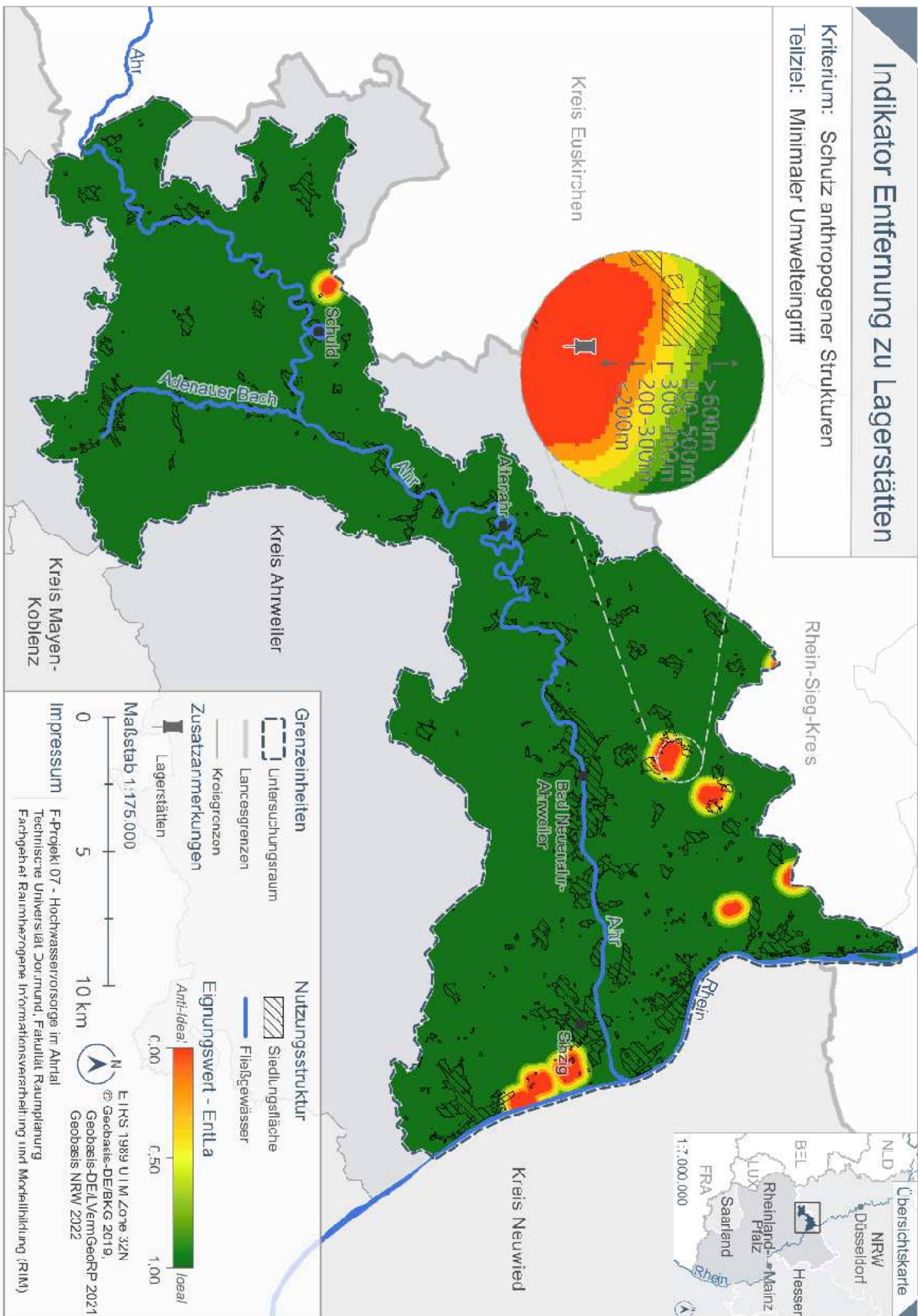
Exportdatum: 28.07.2022

Indikator	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen			
	Nummer	1.6	Kriterium	Schutz anthropogener Strukturen
	Abkürzung	EntIn	(Teil-) / Unterziel	Minimaler Umwelteingriff
Beschreibung	Der Indikator bezieht sich auf die Funktionsfähigkeit von Infrastruktureinrichtungen, sowie deren Entfernung zu Hochwasserrückhaltebecken.			
Funktions-eignung / Begründung	Die Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen dient dem Schutz dieser. Hierbei werden Objekte berücksichtigt, welche Handel und Dienstleistungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung sowie Sport und Freizeit dienen berücksichtigt. Diese gilt es zu schützen, um die Versorgung zu sichern, die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten und eine soziale Teilhabe zu garantieren. Die Distanz von Rückhalteflächen zu Infrastruktureinrichtungen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Hochwasser diese nicht zerstört.			
Auswirkungen	Eine größere Distanz zu Siedlungsflächen wirkt sich positiv auf die Eignung einer Fläche aus.			
Methode	Es wird die euklidische Distanz des Hochwasserrückhaltebeckens zu Infrastruktureinrichtungen untersucht			
Skalenniveau	rational			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin.			
Datenbasis	ATKIS – Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen [m]	
0 – 25	0
25 – 50	0,2
50 – 75	0,4
75 – 100	0,6
100 – 125	0,8
> 125	1,0

Indikator Entfernung zu Lagerstätten

Kriterium: Schutz anthropogener Strukturen
Teilziel: Minimaler Umwelteingriff



Exportdatum: 27.07.2022

Indikator	Entfernung zu Lagerstätten			
	Nummer	1.7	Kriterium	Schutz anthropogener Strukturen
	Abkürzung	EntLa	(Teil-) / Unterziel	Minimaler Umwelteingriff
Beschreibung	Der Indikator beschreibt die Entfernung von Hochwasserrückhaltebecken zu Bodenschätzen, in Form von Ansammlungen fester, flüssiger oder gasförmiger Rohstoffen in hoher Konzentration.			
Funktions-eignung / Begründung	Die Entfernung zu Lagerstätten gewährleistet den Abbau von Rohstoffen und verhindert, dass im Versagensfall eines Hochwasserrückhaltebeckens, durch die Flutung einer Lagerstätte im Versagensfall eines Hochwasserrückhaltebeckens Umweltschäden entstehen, z.B. wenn kontaminiertes Wasser in das Grundwasser gelangt.			
Auswirkungen	Eine größere Entfernung zu Lagerstätten wirkt sich positiv auf die Eignung einer Fläche aus.			
Methode	Es wird die euklidische Distanz des Hochwasserrückhaltebeckens zu Lagerstätten untersucht.			
Skalenniveau	rational			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin. Bundesnaturschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 01.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.08.2021 (BGBl. I S. 3908).			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz) ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW)			

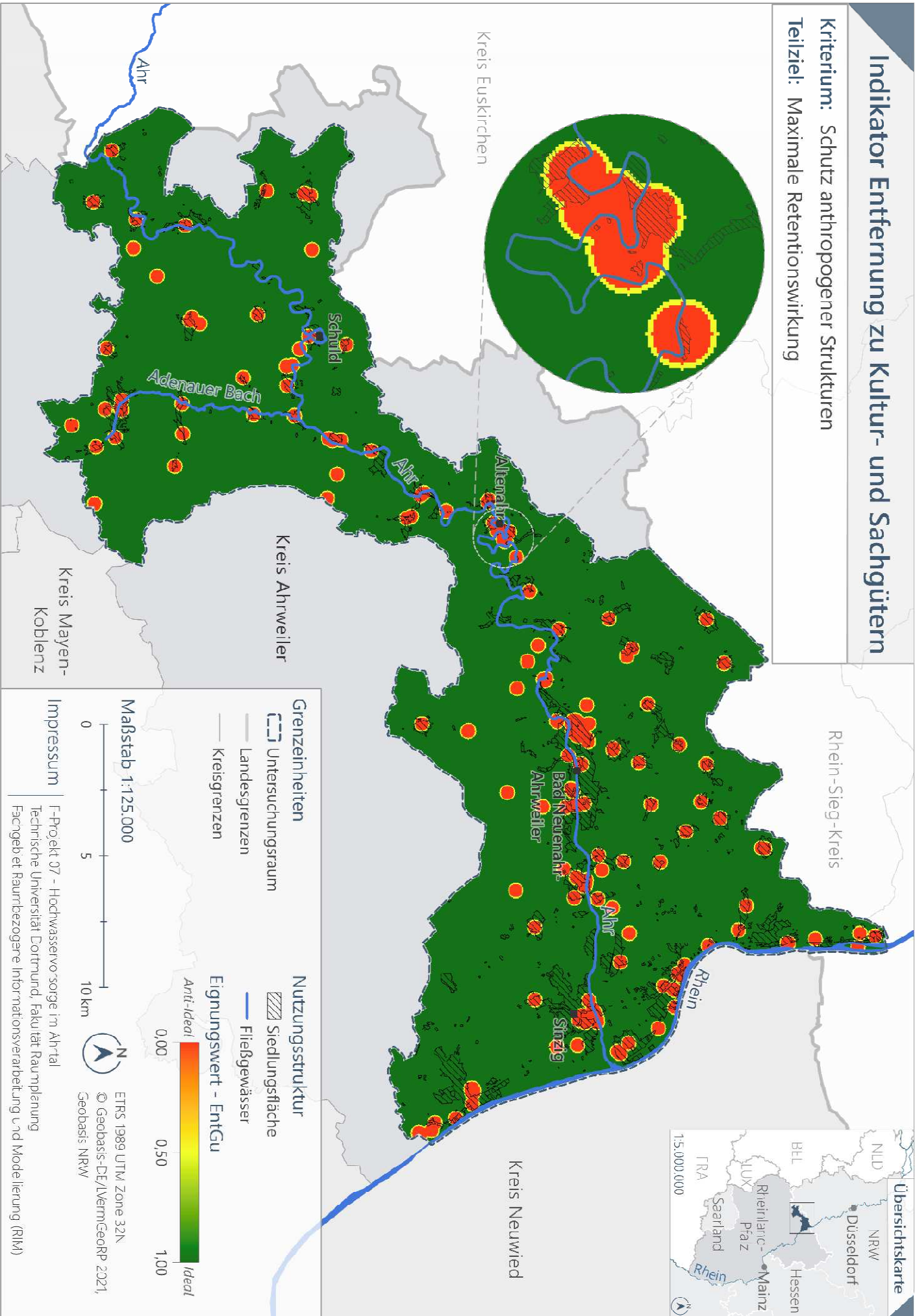
Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Entfernung zu Lagerstätten [m]	
0-200	0
200-300	0,2
300-400	0,4
400-500	0,6

500-600	0,8
600-700	1

Indikator Entfernung zu Kultur- und Sachgütern

Kriterium: Schutz anthropogener Strukturen

Teilziel: Maximale Retentionswirkung



Exportdatum: 27.07.2022

Indikator	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern			
	Nummer	1.8	Kriterium	Schutz anthropogener Strukturen
	Abkürzung	EntGu	(Teil-) / Unterziel	Minimaler Umwelteingriff
Beschreibung	Der Indikator beschreibt die Erhaltung von Kultur- und Sachgütern, die unter die im BNatSchG gelisteten Grundsätze des Naturschutzes und der Landschaftspflege fallen (wie z.B. besondere Geländeoberflächen, Denkmäler, Fundstätten).			
Funktions-eignung / Begründung	Der Abstand zu Hochwasserrückhaltebecken ist erforderlich, um die Eigenart und Schönheit geschützter oder schützenswerter Kultur-, Bau- und Bodendenkmäler, sowie Sachgüter im technischen Versagensfall eines Hochwasserrückhaltebeckens zu erhalten.			
Auswirkungen	Eine entfernungsabhängige Eignung dient dem Schutz entsprechender Objekte.			
Methode	Es wird die euklidische Distanz des Hochwasserrückhaltebeckens zu Kultur- und Sachgütern untersucht.			
Skalenniveau	rational			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin. Bundesnaturschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 01.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 18.08.2021 (BGBl. I S. 3908).			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

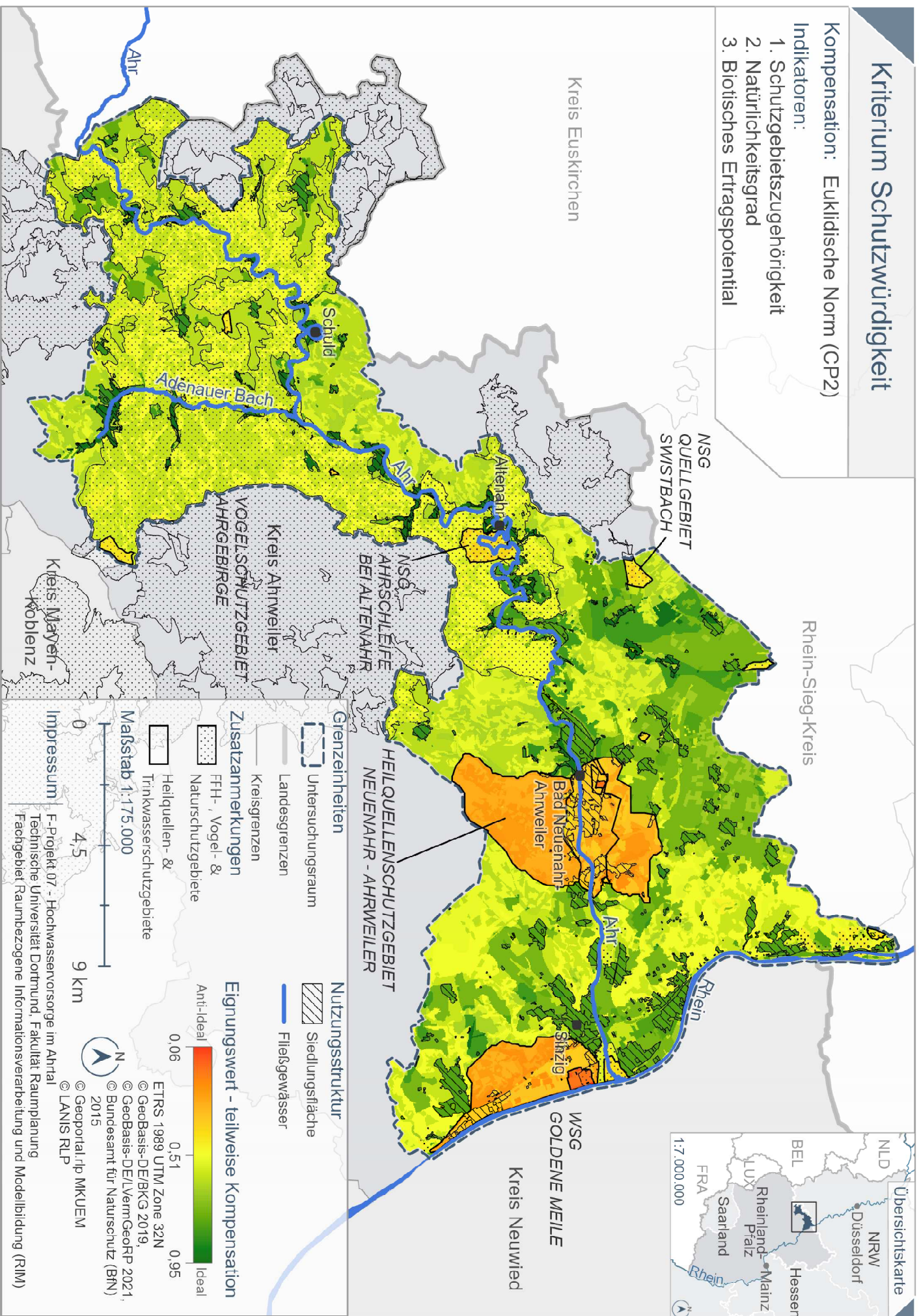
Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern [m]	
0-100	0
100-150	0,2
150-200	0,4
200-250	0,6
250-300	0,8
>300	1

Kriterium Schutzwürdigkeit

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

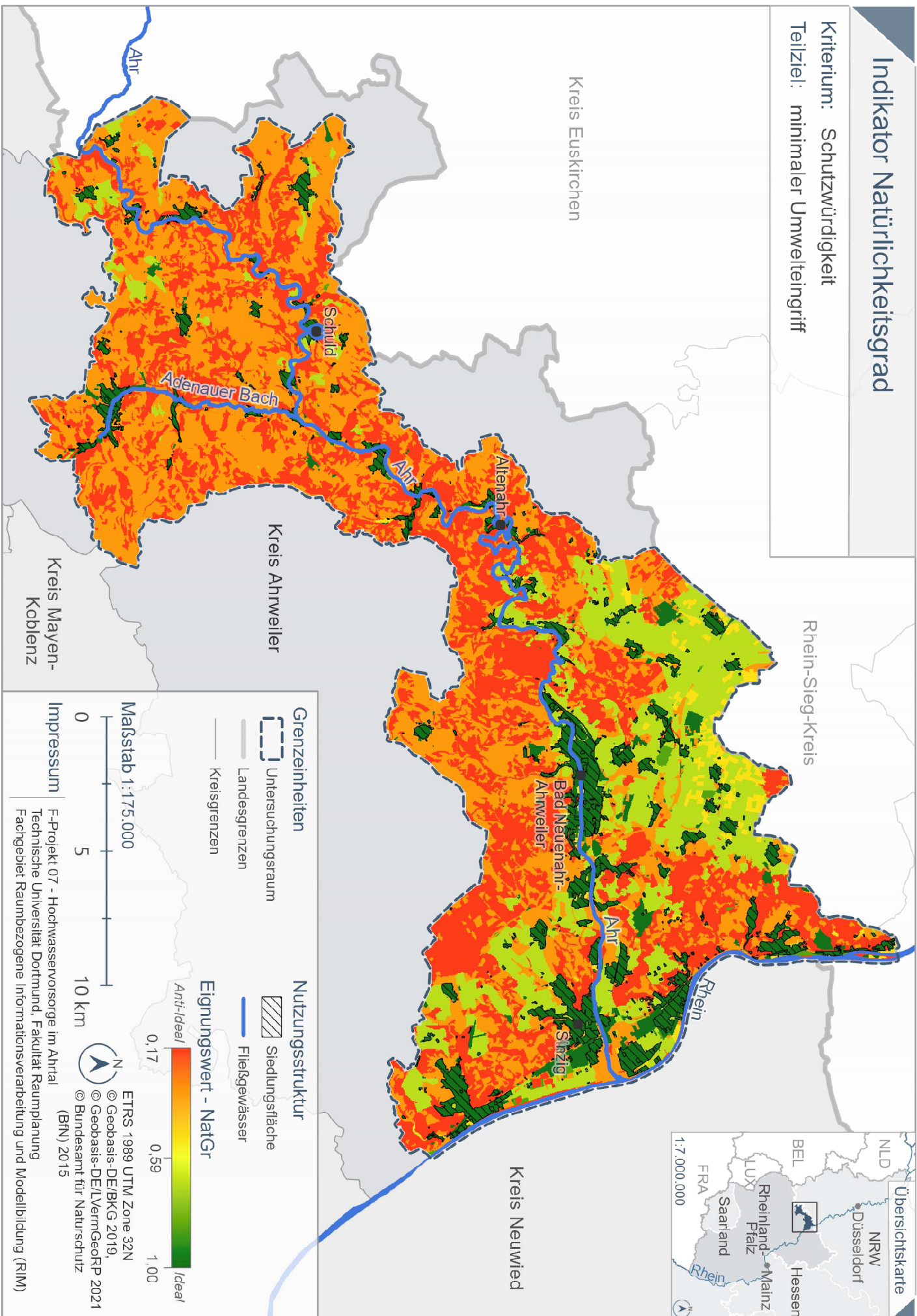
Indikatoren:

1. Schutzgebietszugehörigkeit
2. Natürlichkeitsgrad
3. Biotisches Ertragspotential



Indikator Natürlichkeitsgrad

Kriterium: Schutzwürdigkeit
Teilziel: minimaler Umwelteingriff



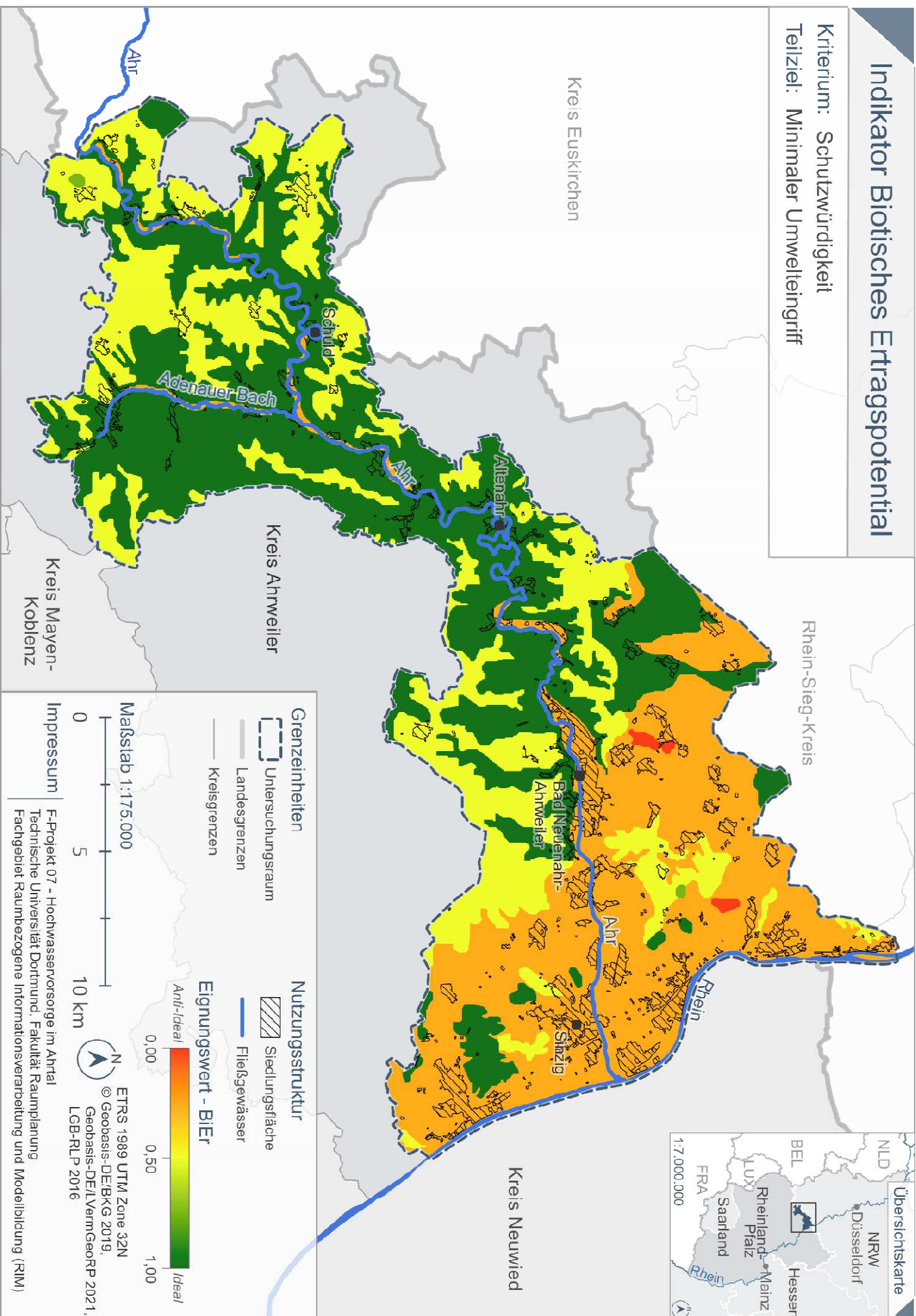
Indikator	Natürlichkeitsgrad			
	Nummer	1.8	Kriterium	Schutzwürdigkeit
	Abkürzung	NatGr	(Teil-) / Unterziel	geringster Umwelteingriff
Beschreibung	Der Natürlichkeitsgrad stellt den anthropogenen Einfluss auf die räumliche Umwelt dar und ermöglicht eine Beurteilung der Schutzwürdigkeit einer Fläche insofern, dass von naturnahen Flächen eine höhere Lebensraumfunktion und somit einer höhere Schutzwürdigkeit einhergeht. Das Konzept der Hemerobie ermöglicht dabei eine stufenbasierte Klassifikation von Flächen hinsichtlich ihrer Naturnähe.			
Funktions-eignung / Begründung	Naturnahe anthropogen geringer beeinflusste Flächen weisen eine höhere Lebensraumfunktion auf. Folglich sind jene Gebiete vor, mit der Ausweisung von Rückhaltebecken verbundenen Umwelteingriffen zu schützen, um die naturelle Vielfalt des Gebiets zu sichern.			
Auswirkungen	Der Umwelteingriff ist umso geringer, je stärker anthropogen beeinflusst eine Fläche ist. Folglich sind naturnähere Flächen ungeeigneter als naturfremde.			
Methode	Die Hemerobieuweisung erfolgt anhand der Flächennutzung auf Grundlage des ATKIS Basis - DLM nach Stein 2011, Lantzsich 2006 und Schauer 2006 unter Berücksichtigung der heutigen natürlichen potentiellen Vegetation bei der Differenzierung der Hemerobieklassen von Laub-, Wald- und Mischwälder (siehe Tabelle 2).			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Lantzsich, P. (2005): Untersuchungen zur Kennzeichnung (Darstellung) von Böden der Natur- und Kulturgeschichte nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz in Brandenburg. Potsdam, 73 - 80. Stein, C. (2011): Hemerobie als Indikator zur Landschaftsbewertung – eine GIS-gestützte Analyse für den Freistaat Sachsen. 14 - 39; 109 - 115. Schauer, P. (2006): GIS-gestützte Prognose zur Landschaftszerschneidung im Freistaat Sachsen für das Jahr 2020, IÖR und TU Dresden zit. in Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin, 296			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz) Potentielle natürliche Vegetation Deutschland pnv 1:500 (Bundesamt für Naturschutz)			

Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
1. Natürlich (ahemerob)	0
2. Naturnah (olgiohermerob)	0,17
3. Halbnatürlich (mesohermerob)	0,34
4. Bedingt naturfern (alpha - euhemoerob)	0,51
5. Naturfern (beta - euhemerob)	0,68
6. Naturfremd (polyhemerob)	0,85
7. Künstlich (metahemerob)	1

Indikator Biotisches Ertragspotential

Kriterium: Schutzwürdigkeit

Teilziel: Minimaler Umwelteingriff



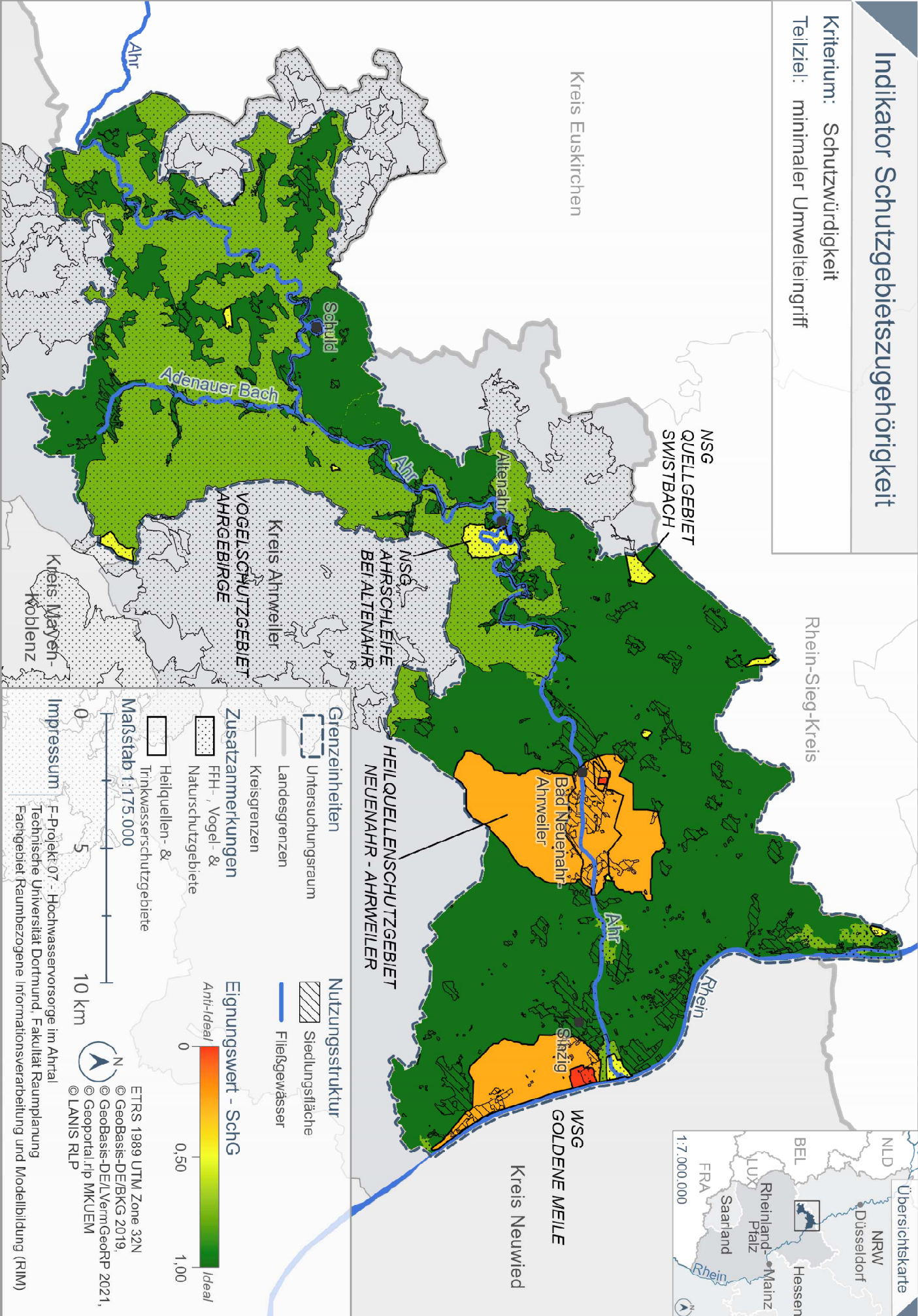
Indikator	Biotisches Ertragspotential			
	Nummer	1.10	Kriterium	Schutzwürdigkeit
	Abkürzung	BiEr	(Teil-) / Unterziel	Minimaler Umwelteinriff
Beschreibung	Der Indikator beschreibt die Fähigkeit eines Naturraums verwertbare Biomasse in wiederholbaren Zyklen zu ermöglichen. Es zeigt somit, wie ertragreich land-, forstwirtschaftliche Flächen sind.			
Funktions- eignung / Begründung	Ertragreiche Böden sind für eine land- und forstwirtschaftliche Nutzung besonders attraktiv. Ein Hochwasserrückhaltebecken könnte eine solche Nutzung einschränken. Durch Erosion, Sedimentation und Infiltration kann die Qualität des Bodens langfristig zusätzlich verschlechtert werden. Daher sind Flächen mit besonders hohem Ertragspotential zu vermeiden.			
Auswirkungen	Ein hohes biotisches Ertragspotential wirkt sich negativ auf die Eignung einer Fläche für Hochwasserrückhaltebecken aus.			
Methode	Die BFD200 wurde digitalisiert und die Klassifizierung des Landesamts für Geologie und Bergbau übernommen.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin. Zölitz, R. (2016): Landschaftsbewertung. In: Riedel, W.; Lange, H.; Jedicke, E.; Reinke, M. (Hrsg.): Landschaftsplanung. Berlin, 134.			
Datenbasis	Bodenflächendaten (BFD200)			

Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Gewässer	0
5 (sehr hoch)	0,2
4 (hoch)	0,4
3 (mittel)	0,6
2 (gering)	0,8
1 (sehr gering)	1,0
0 (ungeeignet)	1,0

Indikator Schutzgebietszugehörigkeit

Kriterium: Schutzwürdigkeit	
Teilziel: minimaler Umwelteingriff	

Teilziel: minimaler Umwelteingriff



Indikator	Schutzgebietszugehörigkeit			
	Nummer	1.11	Kriterium	Schutz- würdigkeit
	Abkürzung	SchG	(Teil-) / Unterziel	geringster Umwelteinriff
Beschreibung	Der Indikator misst die Schutzwürdigkeit eines Gebietes anhand der Zugehörigkeit zu Schutzgebieten, deren Schutzziel durch die Ausweisung eines Hochwasserrückhaltebeckens beeinträchtigt wird.			
Funktions- eignung / Begründung	Der Wirkungszusammenhang von Bauvorhaben mit Schutzgebieten ist bei der Standortsuche zu beachten, da Schutzgebiete erhebliche Umsetzungshürden darstellen. Des Weiteren ist die Planung eines Hochwasserrückhaltebeckens in Schutzgebietesonen, die der Stufe der absoluten Unverträglichkeit zugeordnet wurden, nicht möglich.			
Auswirkungen	Je unverträglicher die Errichtung eines Hochwasserrückhaltebeckens mit dem Schutzziel und der Schutz Kompensation eines Gebietes ist, desto ungeeigneter sind die zugehörigen Flächen.			
Methode	Im Zuge von Expert:Innen Interviews mit Expertisen aus dem Umweltschutz und der Wasserwirtschaft wurden die Schutzgebiete hinsichtlich ihrer Unverträglichkeit mit der Ausweisung eines Hochwasserrückhaltebeckens klassifiziert. Die Grenzwertzuteilung der Rasterzellen erfolgte im GIS nach der zugrundeliegenden Tabelle. Bei Überschneidungen von Schutzgebieten wurde der Fläche der niedrigere Grenzwert und somit ein höherer Schutzstatus zugeteilt.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe. Berlin. Struktur- und GenehmigungsDirktion Nord RLP (2022): Wasserschutzgebiete. https://sgdnord.rlp.de/de/wasser-abfall-boden/wasserwirtschaft/schutzgebiete/wasserschutzgebiete/ (19.06.2022).			
Datenbasis	Heilquellen- Wasserschutzgebiete in Rheinland Pfalz (Geoportal.rlp MKUEM) Landschaft-, Natur-, Vogel-, FFH-Schutzgebiete in Rheinland Pfalz (LANIS RLP)			

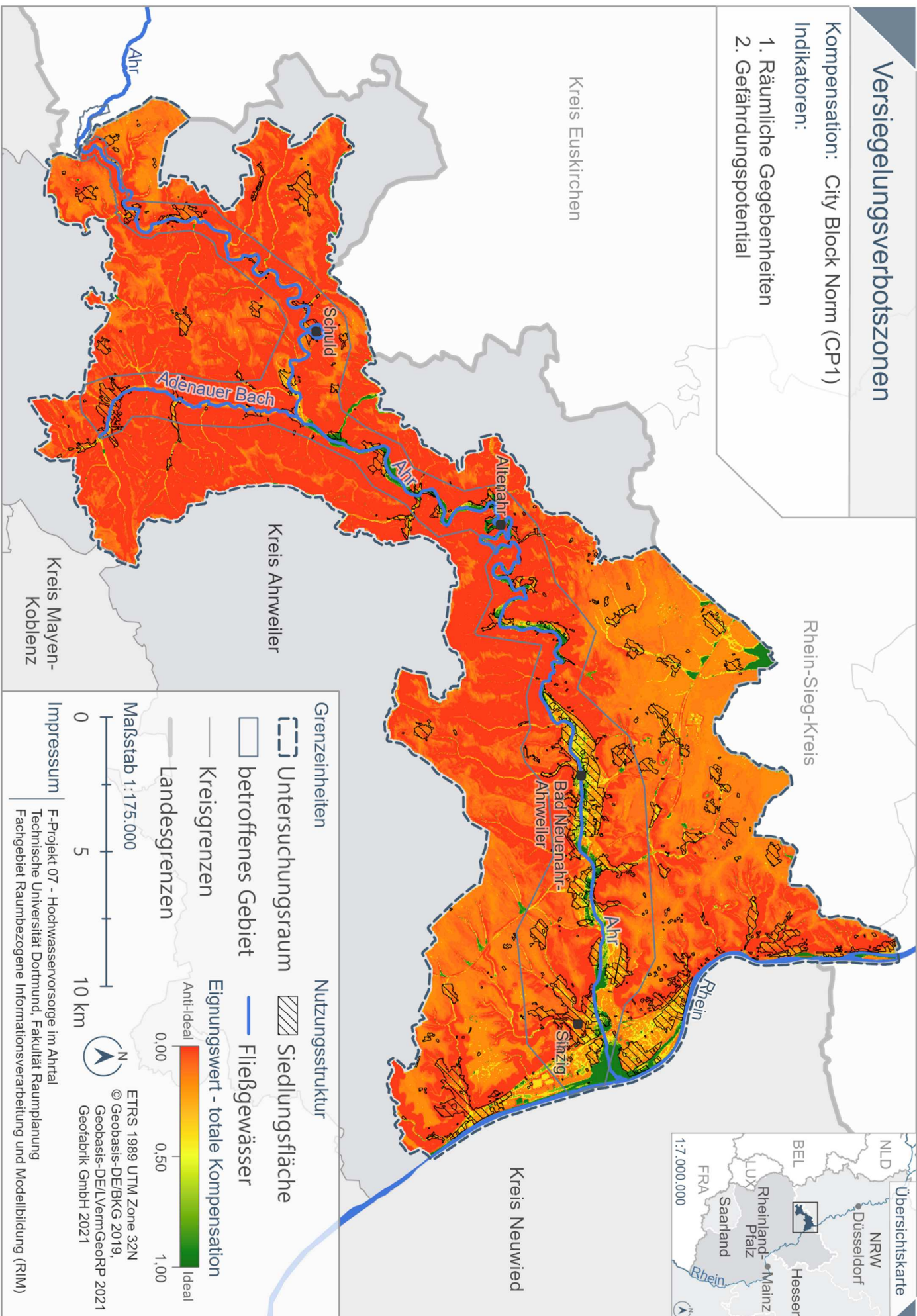
Unterverträglichkeitsgrad	Schutzgebiete	normalisierter Eignungswert
absolute Unverträglichkeit	Wasserschutzgebiet Zone 1 & 2 nach §51 WHG Heilquellenschutzgebiet Zone 1 & 2 nach §53 WHG	0
hohe Unverträglichkeit	Wasserschutzgebiet Zone 3 nach §51 WHG Heilquellenschutzgebiet Zone 3 & 4 nach §53 WHG	0,25
moderate Unverträglichkeit	Naturschutzgebiet nach §23 BNatSchG	0,5
geringe Unverträglichkeit	FFH - Gebiete nach Art. 6 FFH - RL Vogelschutzgebiete nach Art. 2 VS - RL	0,75
keine Unverträglichkeit	Landschaftsschutzgebiete nach §26 BNatSchG Flächen ohne Schutzgebietszugehörigkeit	1,0

Versiegelungsverbotzonen

Kompensation: City Block Norm (CP1)

Indikatoren:

1. Räumliche Gegebenheiten
2. Gefährdungspotential



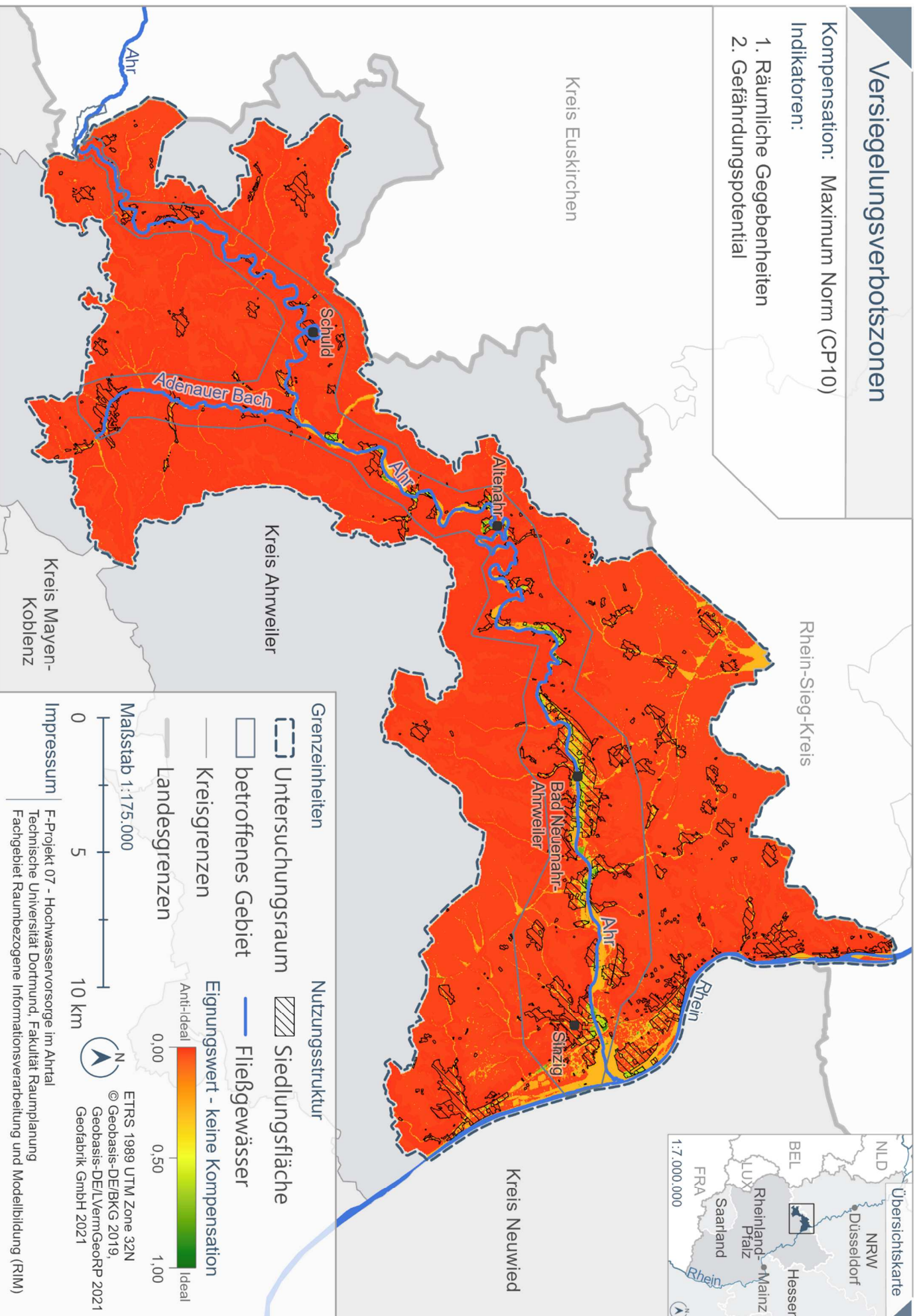
Exportdatum: 28.06.2022

Versiegelungsverbotzonen

Kompensation: Maximum Norm (CP10)

Indikatoren:

1. Räumliche Gegebenheiten
2. Gefährdungspotential



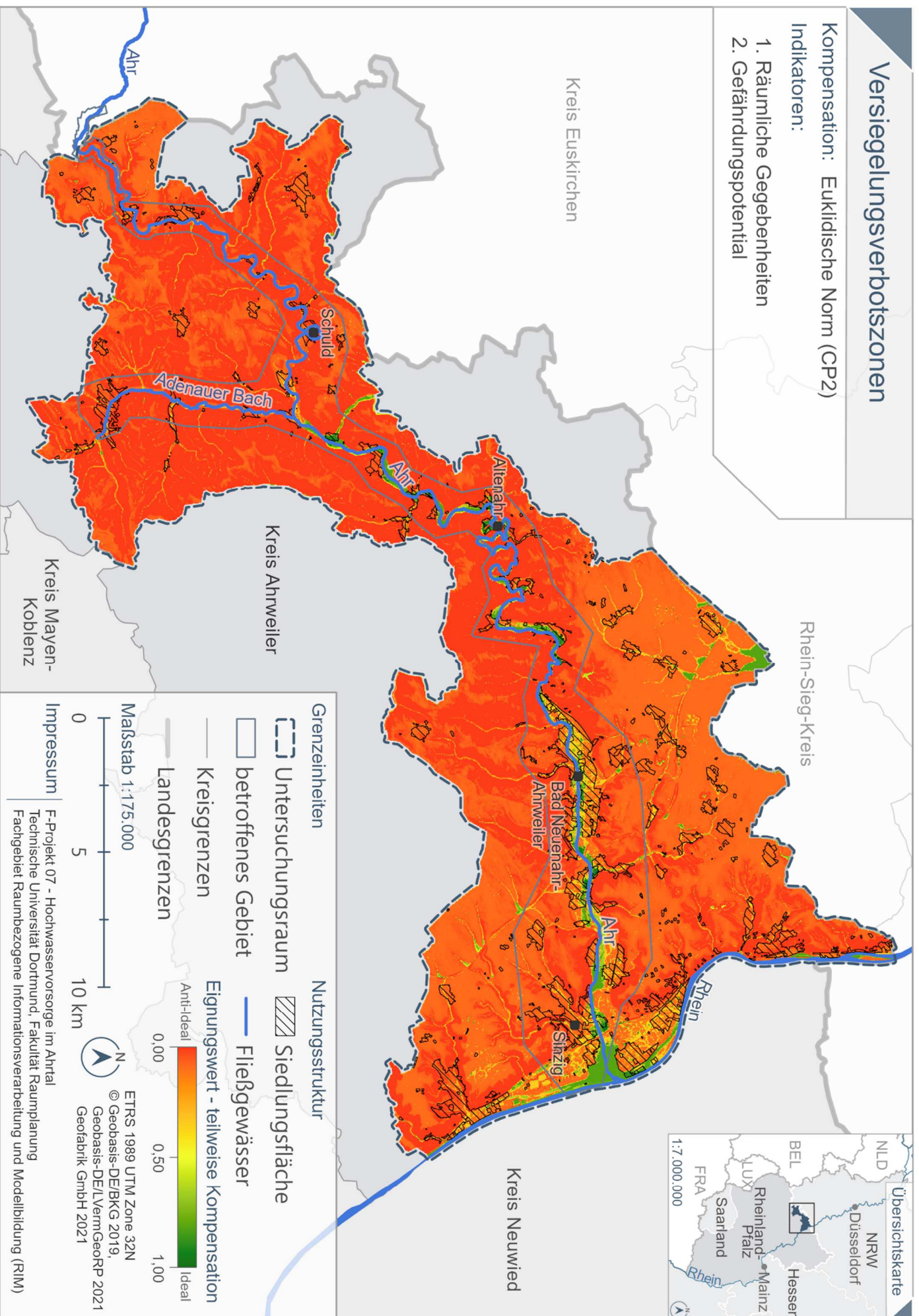
Exportdatum: 28.06.2022

Versiegelungsverbotzonen

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

Indikatoren:

1. Räumliche Gegebenheiten
2. Gefährdungspotential



Grenzeinheiten

Nutzungsstruktur

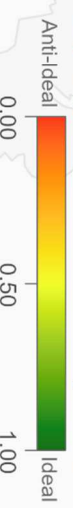
Untersuchungsraum

betroffenes Gebiet

Kreisgrenzen

Landesgrenzen

Eignungswert - teilweise Kompensation



Maßstab 1:175.000



ETRS 1989 UTM Zone 32N
© Geobasis-DE/BKG 2019,
Geobasis-DE/LVermGeoRP 2021
Geofabrik GmbH 2021

Impressum

F-Projekt 07 - Hochwasservorsorge im Ahrtal
Technische Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung
Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung (RIM)

Exportdatum: 28.06.2022

Übersichtskarte

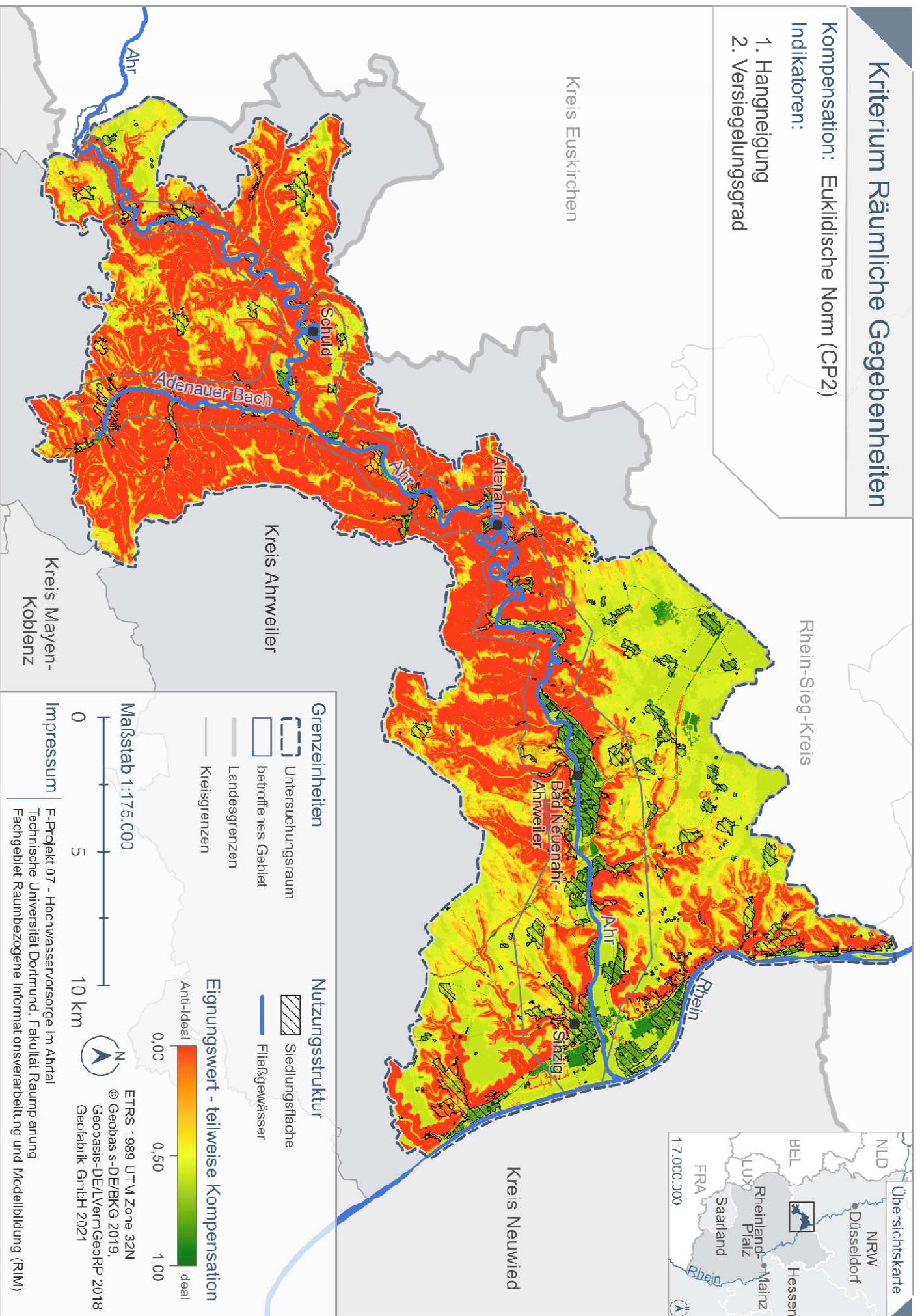
NLD

NRW

Düsseldorf

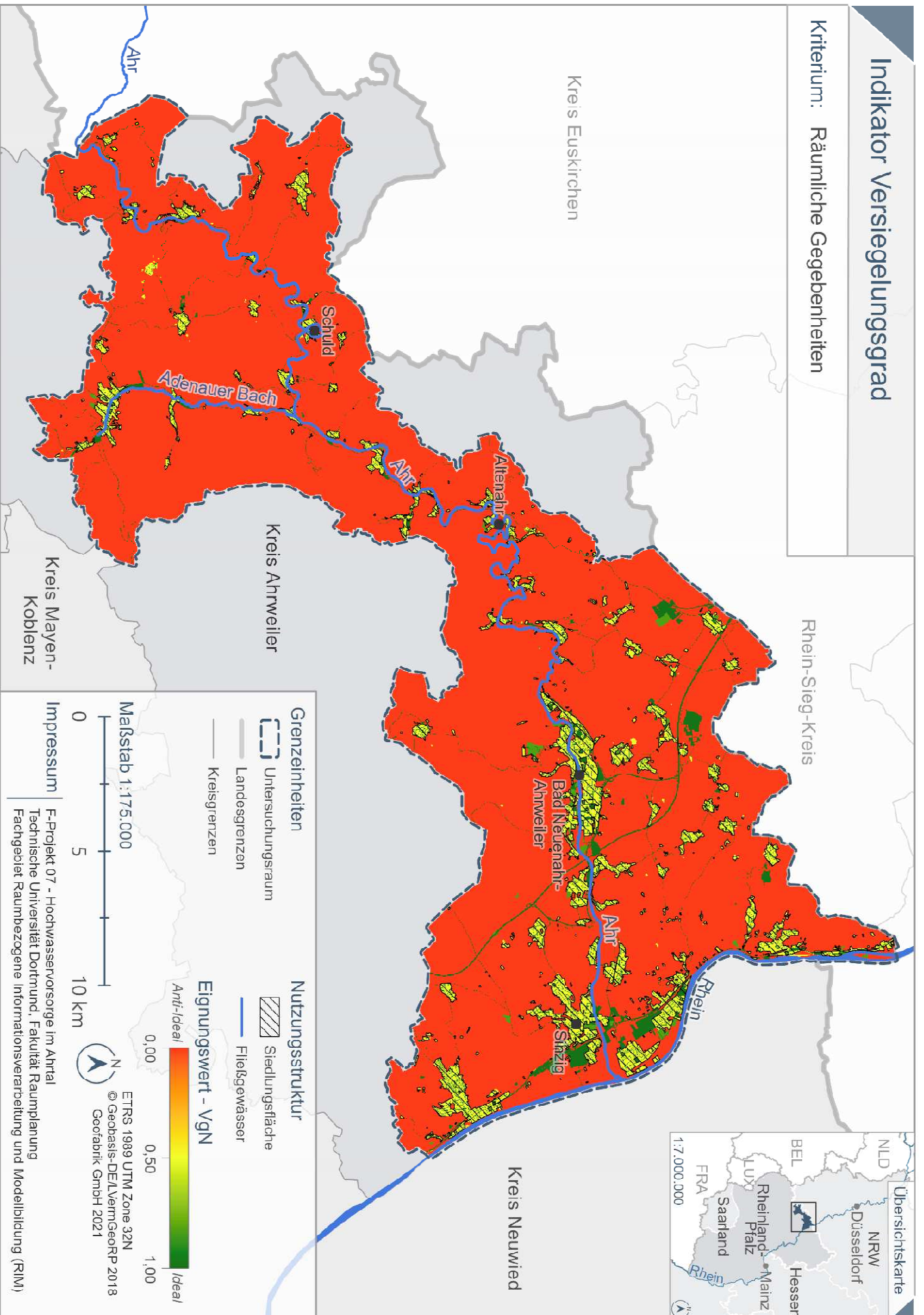
Indikatoren:

1. Hangneigung
2. Versiegelungsgrad



Indikator Versiegelungsgrad

Kriterium: Räumliche Gegebenheiten

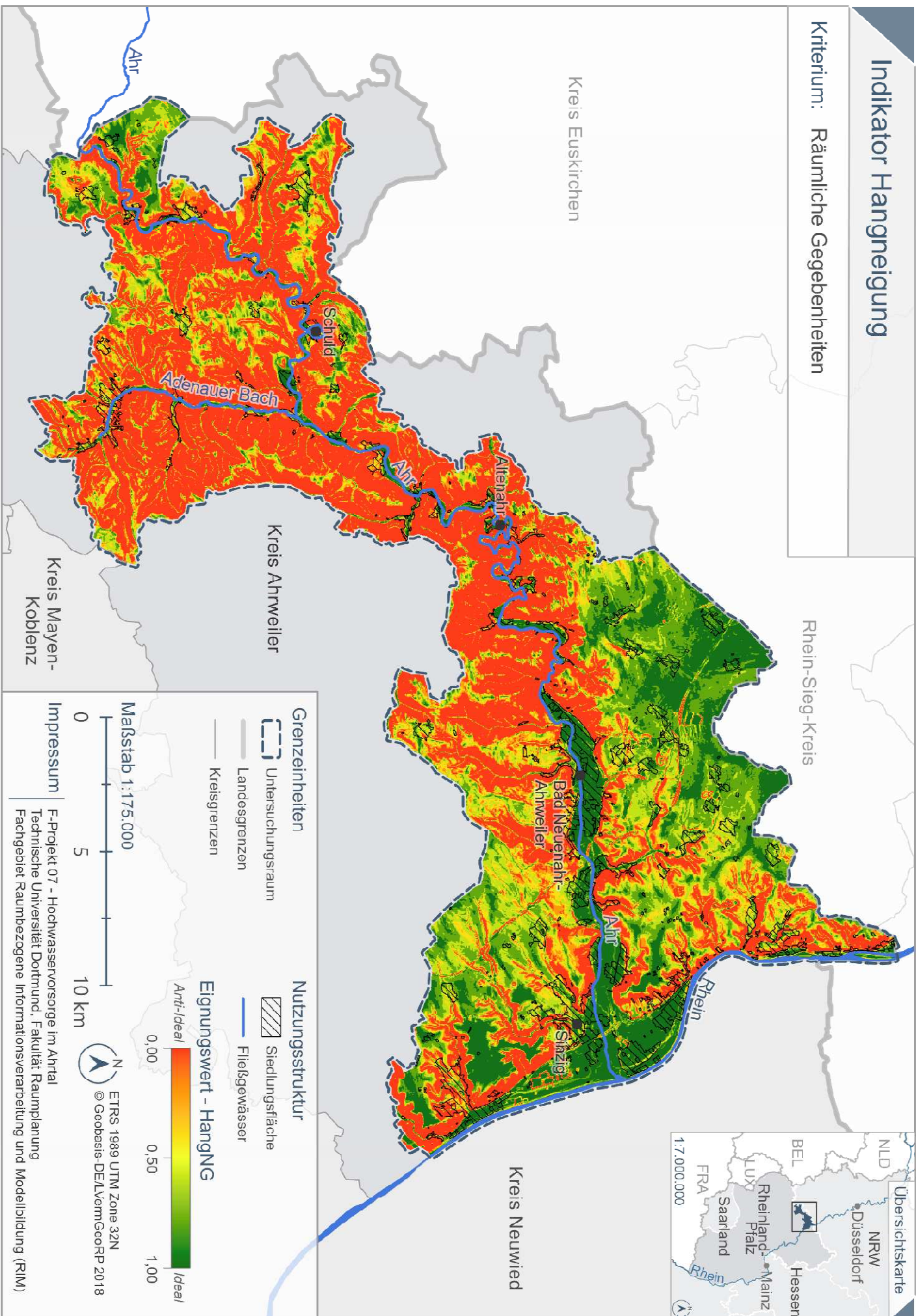


Indikator	Versiegelungsgrad			
	Nummer	2.1	Kriterium	Räumliche Gegebenheiten
	Abkürzung	VgN	(Teil-) Unterziel	/ /
Beschreibung	Dieser Indikator beschreibt den Anteil der versiegelten Fläche an der Gesamtfläche einer Nutzungsart.			
Funktions-eignung / Begründung	Je höher der Anteil von versiegelter Fläche ist, desto geringer ist die Versickerungsfähigkeit. Stark versiegelte Flächen und die dort vorhandenen schützenswerten anthropogenen Strukturen sind somit im Fall eines Starkregenereignisses besonders gefährdet. Um eine weitere Verschlechterung der Infiltrationswirkung auf diesen gefährdeten Flächen zu verhindern, sind jene Gebiete für die Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen besonders geeignet. Deshalb muss einer weiteren Versiegelung vorgebeugt werden.			
Auswirkungen	Wenn der Grad der Versiegelung einer Fläche sich dem Idealwert von 1 nähert, besteht eine größere Eignung für eine Versiegelungsverbotzone.			
Methode	Den verschiedenen Nutzungsarten im Untersuchungsraum wird ein Versiegelungsgrad [%] zugeordnet.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	ATKIS - Digitales Landschaftsmodell 50 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz) OpenStreetMap Rheinland-Pfalz (Geofabrik GmbH)			
Datenbasis	Heilquellen- Wasserschutzgebiete in Rheinland Pfalz (Geoportal.rlp MKUEM) Landschaft-, Natur-, Vogel-, FFH-Schutzgebiete in Rheinland Pfalz (LANIS RLP)			

Klassifikation / Grenzwerte	Normalisierter Eignungswert
Versiegelungsgrad [%]	
0 - 10	0,0
10 - 20	0,11
20 - 30	0,22
30 - 40	0,33
40 - 50	0,44
50 - 60	0,55
60 - 70	0,66
70 - 80	0,77
80 - 90	0,88
90 - 100	1

Indikator Hangneigung

Kriterium: Räumliche Gegebenheiten



Grenzeinheiten

Untersuchungsraum

Landesgrenzen

Kreisgrenzen

Nutzungsstruktur

Siedlungsfläche

Fließgewässer

Eignungswert - Hang



Maßstab 1:175.000



ETRS 1989 UTM Zone 32N
© Geobasis-DE/LVermGeoRP 2018

Impressum

F-Projekt 07 - Hochwasservorsorge im Ahrtal
Technische Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung
Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung (RIM)

Indikator	Hangneigung			
	Nummer	2.2	Kriterium	Räumliche Gegebenheiten
	Abkürzung	VgN	(Teil-) / Unterziel	/
Beschreibung	Der Indikator beschreibt die Neigung des Geländes. Die Neigung wird in Grad angegeben.			
Funktions-eignung / Begründung	Wasser kann auf Flächen mit geringer Hangneigung besser versickern, wodurch Flächen mit einer geringen Neigung unter gleichen anderweitigen Bedingungen besonders geeignet für die Ausweisung von Versiegelungsverbotzonen sind.			
Auswirkungen	Eine Fläche mit sehr geringer Hangneigung besitzt ein hohes Potential für ein Versiegelungsverbot.			
Methode	Die Neigung des Geländes wurde zunächst mithilfe des DGM25 berechnet. Die Klassifikation und die Einteilung der Grenzwerte orientierte sich am Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung. Diese Einteilung wurde jedoch aufgrund der Erkenntnisse der Feldforschung überarbeitet und an das Untersuchungsgebiet angepasst. Dabei wurde die Hangneigung der Flächen, die im Rahmen der Feldforschung aufgrund ihrer zu hoch erscheinenden Hangneigung als nicht geeignet eingestuft wurden als neuer Anti-Idealwert gesetzt. Im Weiteren wurden sechs gleich große Klassen gebildet, denen Eignungswerte zugeordnet wurden.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Ahmadisharaf, E.; Tajrishy, M.; Alamdari, N. (2016): Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making. In: Journal of Environmental Planning and Management 59, 8, 1397–1417. doi: 10.1080/09640568.2015.1077104. Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung/Julius Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (2017): Hangneigung.https://flf.julius-kuehn.de/webdienste/webdienste-des-flf/hangneigung.html (19.06.2022).			
Datenbasis	ATKIS - Digitales Geländemodell 25 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)			

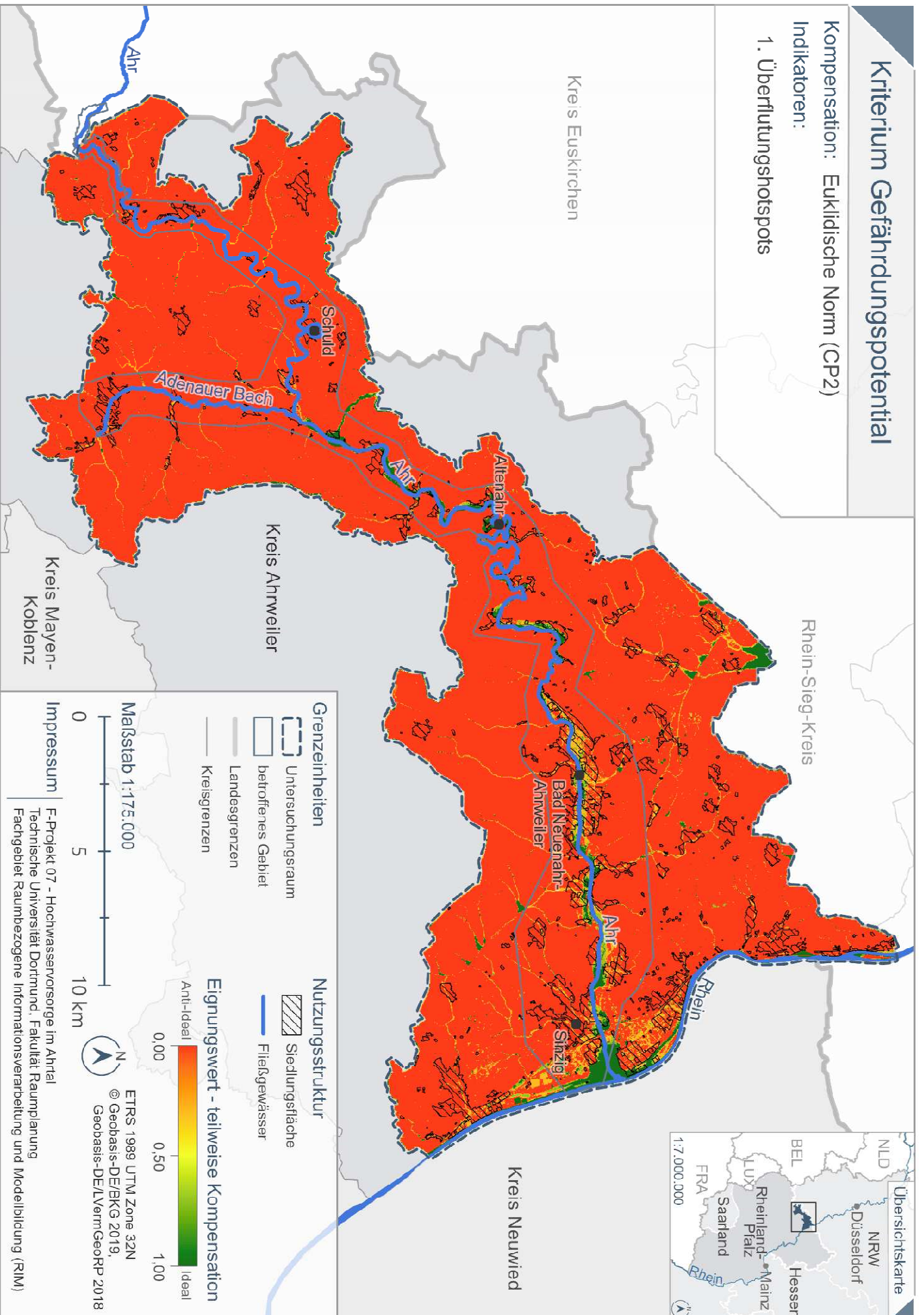
Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Neigung [°]	
0 - 2	1
2 - 4	0,8
4 - 6	0,6
6 - 8	0,4
8 - 10	0,2
> 10	0

Kriterium Gefährdungspotential

Kompensation: Euklidische Norm (CP2)

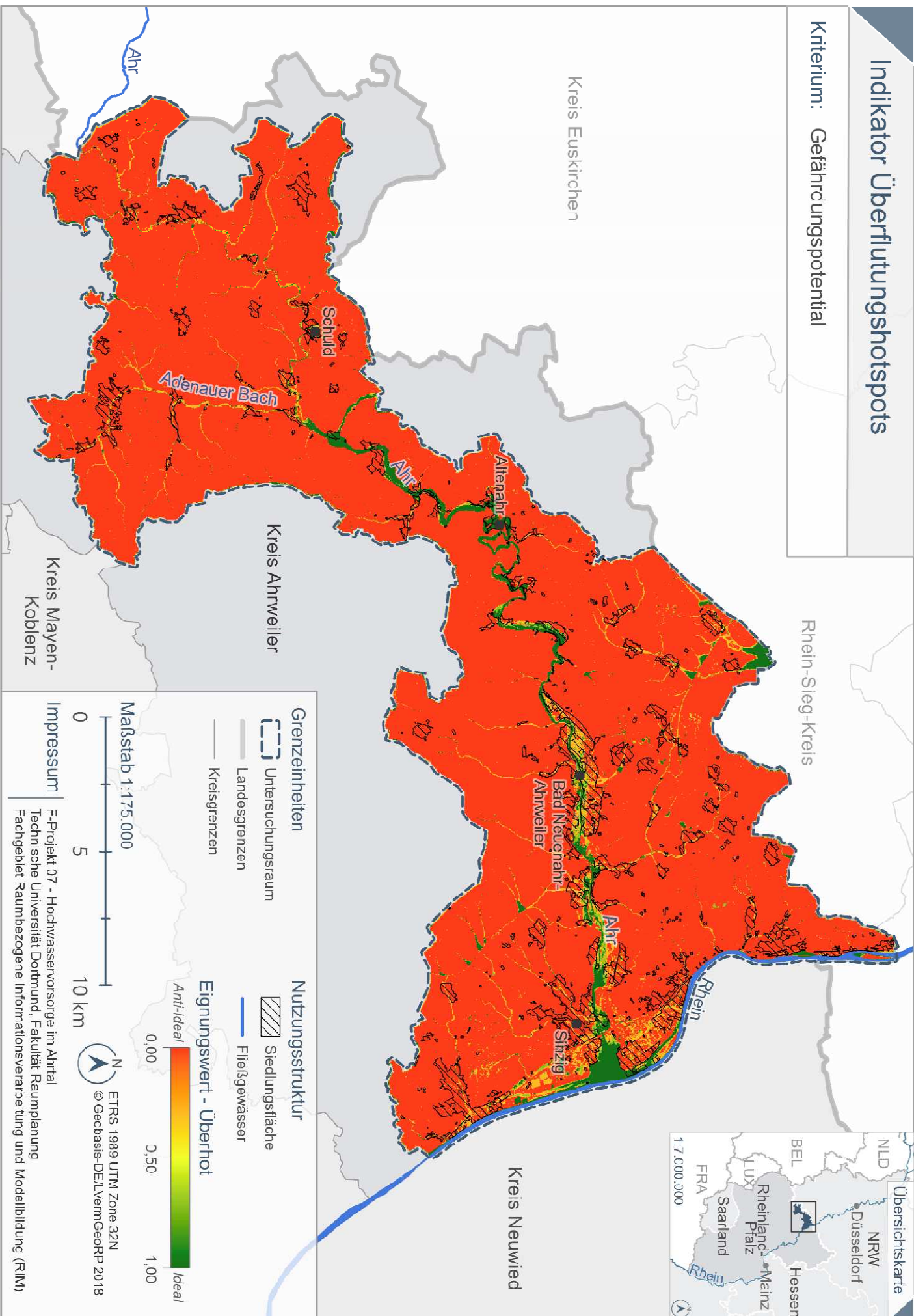
Indikatoren:

1. Überflutungshotspots



Indikator Überflutungshotspots

Kriterium: Gefährdungspotential



Grenzeinheiten

Untersuchungsraum

Landesgrenzen

Kreisgrenzen

Nutzungsstruktur

Siedlungsfläche

Fließgewässer

Eignungswert - Überhot



Maßstab 1:175.000



ETRS 1989 UTM Zone 32N
© Geobasis-DE/LVermGeoRP 2018

Impressum

F-Projekt 07 - Hochwasservorsorge im Ahrtal
Technische Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung
Fachgebiet Raumbezogene Informationsverarbeitung und Modellbildung (RIM)

Exportdatum: 21.05.2022

Indikator	Überflutungshotspots			
	Nummer	2.3	Kriterium	Gefährdungspotential
	Abkürzung	Überhot	(Teil-) / Unterziel	/
Beschreibung	Der Indikator kennzeichnet die Überflutungsbereiche (Überflutungshotspots) im Untersuchungsraum, die im Rahmen eines extremen Starkregenereignisses, auftreten können. Dabei werden sowohl Überflutungsbereiche gekennzeichnet, welche auf Grund der Ahr überschwemmt werden als auch Bereiche, welche unabhängig von einem oberirdischen Gewässer überflutet werden.			
Funktions-eignung / Begründung	Je mehr Wasser sich an einem Standort sammelt, desto geeigneter ist dieser für die Ausweisung einer Versiegelungsverbotszone. Eine zusätzliche Versiegelung an diesen Standorten würde dazu führen, dass das Wasser bei einem Niederschlagsereignis gar nicht mehr versickern und abfließen würde und die Gefahren aufgrund dessen steigen. Versiegelungsverbote sind folglich in Bereichen mit einer hohen potentiellen Gefährdung auszuweisen, um Schäden in jenen Bereichen zu vermeiden.			
Auswirkungen	Eine Fläche, welche bei einem Starkregenereignis eine Wassertiefe von mindestens einem Meter erreicht, eignet sich für die Ausweisung als Neuversiegelungsverbotszone. Ab diesem Wasserstand verliert ein durchschnittlicher Mensch ab einer Fließgeschwindigkeit von 0,6 m/s die Stabilität und ist somit einem erheblichen Gefährdungspotential ausgesetzt.			
Methode	Der Indikator wurde auf Grundlage einer Starkregenanalyse bestimmt. Dafür wurde mithilfe des Tools Flood Area für das Geoinformationssystem ArcMap ein Starkregenereignis für den Untersuchungsraum simuliert, welches auf Daten entlang des Starkregenereignisses im Juli 2021 entlang der Ahr beruht. Daraus folgend sind die Wassertiefen von den Überflutungsbereichen dargestellt. Die Klassifikation dieser richtet sich nach Bignami et al., wobei eigene Grenzwerte definiert wurden.			
Skalenniveau	ordinal			
Literatur	Bignami, D. F.; Rosso, R.; Sanfilippo, U. (2019): Flood Proofing in Urban Areas. Cham, 25. Umweltbundesamt (2022): Bodenversiegelung. https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung (19.06.2022). Junghänel, T.; Bissolli, P.; Daßler, J.; Fleckenstein, R.; Imbery, F.; Janssen, W.; Kaspar, F.; Lengfeld, K.; Leppelt, T.; Rauthe, M.;			

	Rauthe-Schöch, A.; Rocek, M.; Walawender, E.; Weigl, E. (2021): Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. In: Deutscher Wetterdienst. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.html (18.06.2022).
Datenbasis	ATKIS - Digitales Geländemodell 25 (Landesamt für Vermessung und Geoinformation Rheinland-Pfalz)

Klassifikation / Grenzwerte	normalisierter Eignungswert
Wassertiefe [m]	
0	0
<= 0,5	0,3
0,5 - 1	0,7
> 1	1

3. AHP-Berechnung zur Bestimmung der Ergebnisse

3.1. Gewichtung „Flächen für Hochwasserrückhaltebecken“ – Expertise A

Paarweiser Vergleich der Teilziele:

	Maximale Retentionswirkung	Minimaler Umwelteingriff
Maximale Retentionswirkung	1	1
Minimaler Umwelteingriff	1	1
Summe	2	2

	Maximale Retentionswirkung	Minimaler Umwelteingriff	Indikatorenengewichtung
Maximale Retentionswirkung	0,5	0,5	50,00%
Minimaler Umwelteingriff	0,5	0,5	50,00%
Summe	1	1	100,00%

	Maximale Retentionswirkung	Minimaler Umwelteingriff	Summe	Ergebnis
Maximale Retentionswirkung	0,5	0,5	1	2
Minimaler Umwelteingriff	0,5	0,5	1	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{0}{1}$

Paarweiser Vergleich der Kriterien:

Kriterien des Teilziels „Maximale Retentionswirkung“:

	Raumstruktur	Retentionslage
Raumstruktur	1	1
Retentionslage	1	1
Summe	2	2

	Raumstruktur	Retentionslage	Indikatorenengewichtung
Raumstruktur	0,5	0,5	50,00%
Retentionslage	0,5	0,5	50,00%
Summe	1	1	100,00%

	Raumstruktur	Retentionslage	Summe	Ergebnis
Raumstruktur	0,5	0,5	1	2
Retentionslage	0,5	0,5	1	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{0}{1}$

Kriterien des Teilziels „Minimaler Umwelteingriff“:

	Schutz anthropogener Strukturen	Schutzwürdigkeit
Schutz anthropogener Strukturen	1	1/3
Schutzwürdigkeit	3	1
Summe	4	1,33

	Schutz anthropogener Strukturen	Schutzwürdigkeit	Indikatorenengewichtung
Schutz anthropogener Strukturen	0,25	0,25	25,00%
Schutzwürdigkeit	0,75	0,75	75,00%
Summe	1	1	100,00%

	Schutz anthropogener Strukturen	Schutzwürdigkeit	Summe	Ergebnis
Schutz anthropogener Strukturen	0,25	0,25	0,5	2
Schutzwürdigkeit	0,75	0,75	1,5	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{0}{1}$

Paarweiser Vergleich der Indikatoren:

Indikatoren des Kriteriums Raumstruktur:

	Hangneigung	Zerschneidungsgrad
Hangneigung	1	1/2
Zerschneidungsgrad	2	1
Summe	3	1,50

	Hangneigung	Zerschneidungsgrad	Indikatoren-gewichtung
Hangneigung	0,333333333	0,333333333	33,33%
Zerschneidungsgrad	0,666666667	0,666666667	66,67%
Summe	1	1	100,00%

	Hangneigung	Zerschneidungsgrad	Summe	Ergebnis
Hangneigung	0,333333333	0,333333333	0,666666667	2
Zerschneidungsgrad	0,666666667	0,666666667	1,333333333	2
				4

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

2

0

7

Indikatoren des Kriteriums Retentionslage:

	Oberliegernähe	Distanz zu Fließgewässern
Oberliegernähe	1	1/4
Distanz zu Fließgewässern	4	1
Summe	5	1,25

	Oberliegernähe	Distanz zu Fließgewässern	Indikatoren-gewichtung
Oberliegernähe	0,2	0,2	20,00%
Distanz zu Fließgewässern	0,8	0,8	80,00%
Summe	1	1	100,00%

	Oberliegernähe	Distanz zu Fließgewässern	Summe	Ergebnis
Oberliegernähe	0,2	0,2	0,4	2
Distanz zu Fließgewässern	0,8	0,8	1,6	2
				4

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

2

0

7

Indikatoren des Kriteriums Schutz anthropogener Strukturen:

	Entfernung zu Siedlungsflächen	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	Entfernung zu Lagerstätten	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern
Entfernung zu Siedlungsflächen	1	1	1/9	1
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	1	1	1/9	1
Entfernung zu Lagerstätten	9	9	1	9
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	1	1	1/9	1
Summe	12	12	1,33	12

	Entfernung zu Siedlungsflächen	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	Entfernung zu Lagerstätten	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	Indikatoren-gewichtung
Entfernung zu Siedlungsflächen	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,083333333	8,33%
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,083333333	8,33%
Entfernung zu Lagerstätten	0,75	0,75	0,75	0,75	75,00%
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,083333333	8,33%
Summe	1	1	1	1	100,00%

	Entfernung zu Siedlungsflächen	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	Entfernung zu Lagerstätten	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	Summe	Ergebnis
Entfernung zu Siedlungsflächen	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,333333333	4
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,333333333	4
Entfernung zu Lagerstätten	0,75	0,75	0,75	0,75	3	4
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,083333333	0,333333333	4
						16

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

4

0

0

Indikatoren des Kriteriums Schutzwürdigkeit:

	Natürlichkeitsgrad	Schutzgebietszugehörigkeit	Biotisches Ertragspotential
Natürlichkeitsgrad	1	1/7	1/2
Schutzgebietszugehörigkeit	7	1	4
Biotisches Ertragspotential	2	1/4	1
Summe	10	1,39	5,50

	Natürlichkeitsgrad	Schutzgebietszugehörigkeit	Biotisches Ertragspotential	Indikatoren-gewichtung
Natürlichkeitsgrad	0,1	0,102564103	0,090909091	9,78%
Schutzgebietszugehörigkeit	0,7	0,717948718	0,727272727	71,51%
Biotisches Ertragspotential	0,2	0,179487179	0,181818182	18,71%
Summe	1	1	1	100,00%

	Natürlichkeitsgrad	Schutzgebietszugehörigkeit	Biotisches Ertragspotential	Summe	Ergebnis
Natürlichkeitsgrad	0,097824398	0,102153402	0,093550894	0,293528694	3,000567344
Schutzgebietszugehörigkeit	0,684770785	0,715073815	0,748407148	2,148251748	3,004237749
Biotisches Ertragspotential	0,195648796	0,178768454	0,187101787	0,561519037	3,001142027
					9,005947119

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

3,001982373

0,000991186

0,001708942

3.2 Gewichtung „Flächen für Hochwasserrückhaltebecken“ – Expertise B

Paarweiser Vergleich der Teilziele:

	Maximale Retentionswirkung	Minimaler Umwelteingriff
Maximale Retentionswirkung	1	0,5
Minimaler Umwelteingriff	0,5	1
Summe	2	2

	Maximale Retentionswirkung	Minimaler Umwelteingriff	Indikatorengeewichtung
Maximale Retentionswirkung	0,5	0,5	50,00%
Minimaler Umwelteingriff	0,5	0,5	50,00%
Summe	1	1	100,00%

	Maximale Retentionswirkung	Minimaler Umwelteingriff	Summe	Ergebnis
Maximale Retentionswirkung	0,5	0,5	1	2
Minimaler Umwelteingriff	0,5	0,5	1	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{2}{7}$

Paarweiser Vergleich der Kriterien:

Kriterien des Teilziels „Maximale Retentionswirkung“:

	Raumstruktur	Retentionslage
Raumstruktur	1	3
Retentionslage	1/3	1
Summe	1,33	4

	Raumstruktur	Retentionslage	Indikatorengeewichtung
Raumstruktur	0,75	0,75	75,00%
Retentionslage	0,25	0,25	25,00%
Summe	1	1	100,00%

	Raumstruktur	Retentionslage	Summe	Ergebnis
Raumstruktur	0,75	0,75	1,5	2
Retentionslage	0,25	0,25	0,5	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{2}{7}$

Kriterien des Teilziels „Minimaler Umwelteingriff“:

	Schutz anthropogener Strukturen	Schutzwürdigkeit
Schutz anthropogener Strukturen	1	2
Schutzwürdigkeit	1/2	1
Summe	1,50	3

	Schutz anthropogener Strukturen	Schutzwürdigkeit	Indikatorengeewichtung
Schutz anthropogener Strukturen	0,666666667	0,666666667	66,67%
Schutzwürdigkeit	0,333333333	0,333333333	33,33%
Summe	1	1	100,00%

	Schutz anthropogener Strukturen	Schutzwürdigkeit	Summe	Ergebnis
Schutz anthropogener Strukturen	0,666666667	0,666666667	1,333333333	2
Schutzwürdigkeit	0,333333333	0,333333333	0,666666667	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{2}{7}$

Paarweiser Vergleich der Indikatoren:

Indikatoren des Kriteriums Raumstruktur:

	Hangneigung	Zerschneidungsgrad
Hangneigung	1	1/3
Zerschneidungsgrad	3	1
Summe	4	1,33

	Hangneigung	Zerschneidungsgrad	Indikatoren-gewichtung
Hangneigung	0,25	0,25	25,00%
Zerschneidungsgrad	0,75	0,75	75,00%
Summe	1	1	100,00%

	Hangneigung	Zerschneidungsgrad	Summe	Ergebnis
Hangneigung	0,25	0,25	0,5	2
Zerschneidungsgrad	0,75	0,75	1,5	2
				4

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

2

0

7

Indikatoren des Kriteriums Retentionslage:

	Oberliegernähe	Distanz zu Fließgewässern
Oberliegernähe	1	1/5
Distanz zu Fließgewässern	5	1
Summe	6	1,20

	Oberliegernähe	Distanz zu Fließgewässern	Indikatoren-gewichtung
Oberliegernähe	0,166666667	0,166666667	16,67%
Distanz zu Fließgewässern	0,833333333	0,833333333	83,33%
Summe	1	1	100,00%

	Oberliegernähe	Distanz zu Fließgewässern	Summe	Ergebnis
Oberliegernähe	0,166666667	0,166666667	0,333333333	2
Distanz zu Fließgewässern	0,833333333	0,833333333	1,666666667	2
				4

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

2

0

7

Indikatoren des Kriteriums Schutz anthropogener Strukturen:

	Entfernung zu Siedlungsflächen	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	Entfernung zu Lagerstätten	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern
Entfernung zu Siedlungsflächen	1	3	6	4
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	1/3	1	5	2
Entfernung zu Lagerstätten	1/6	1/5	1	1/4
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	1/4	1/2	4	1
Summe	1,75	4,70	16,00	7,25

	Entfernung zu Siedlungsflächen	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	Entfernung zu Lagerstätten	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	Indikatoren-gewichtung
Entfernung zu Siedlungsflächen	0,571428571	0,638297872	0,375	0,551724138	53,41%
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	0,19047619	0,212765957	0,3125	0,275862069	24,79%
Entfernung zu Lagerstätten	0,095238095	0,042553191	0,0625	0,034482759	5,87%
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	0,142857143	0,106382979	0,25	0,137931034	15,93%
Summe	1	1	1	1	100,00%

	Entfernung zu Siedlungsflächen	Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	Entfernung zu Lagerstätten	Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	Summe	Ergebnis
Entfernung zu Siedlungsflächen	0,534112645	0,743703163	0,352161068	0,637171156	2,267148032	4,24470016
Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen	0,178037548	0,247901054	0,293467557	0,318585578	1,037991737	4,18712111
Entfernung zu Lagerstätten	0,089018774	0,049580211	0,058693511	0,039823197	0,237115694	4,0398962
Entfernung zu Kultur- und Sachgütern	0,133528161	0,123950527	0,234774045	0,159292789	0,651545523	4,09023865
						16,5619561

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

4,140489032

0,046829677

0,052032975

Indikatoren des Kriteriums Schutzwürdigkeit:

	Natürlichkeitsgrad	Schutzgebietszugehörigkeit	Biotisches Ertragspotential
Natürlichkeitsgrad	1	1/3	6
Schutzgebietszugehörigkeit	3	1	7
Biotisches Ertragspotential	1/6	1/7	1
Summe	4,17	1,48	14,00

	Natürlichkeitsgrad	Schutzgebietszugehörigkeit	Biotisches Ertragspotential	Indikatoren-gewichtung
Natürlichkeitsgrad	0,24	0,225806452	0,428571429	29,81%
Schutzgebietszugehörigkeit	0,72	0,677419355	0,5	63,25%
Biotisches Ertragspotential	0,04	0,096774194	0,071428571	6,94%
Summe	1	1	1	100,00%

	Natürlichkeitsgrad	Schutzgebietszugehörigkeit	Biotisches Ertragspotential	Summe	Ergebnis
Natürlichkeitsgrad	0,29812596	0,210824373	0,41640553	0,925355863	3,103909041
Schutzgebietszugehörigkeit	0,89437788	0,632473118	0,485806452	2,01265745	3,182202361
Biotisches Ertragspotential	0,04968766	0,090353303	0,069400922	0,209441884	3,017854508
					9,30396591

Consistency Index (CI)

Consistency Ratio (CR)

3,10132197

0,050660985

0,087346526

3.3 Gewichtung „Versiegelungsverbotzonen“ – Expertise B

Paarweiser Vergleich der Kriterien:

	räumliche Gegebenheiten	Gefährdungspotential
räumliche Gegebenheiten	1	1/4
Gefährdungspotential	4	1
Summe	5	1,25

	Flächennutzung	Oberflächenabfluss	Indikatorenengewichtung
Flächennutzung	0,2	0,2	20,00%
Oberflächenabfluss	0,8	0,8	80,00%
Summe	1	1	100,00%

	Flächennutzung	Oberflächenabfluss	Summe	Ergebnis
Flächennutzung	0,2	0,2	0,4	2
Oberflächenabfluss	0,8	0,8	1,6	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{0}{1}$

Paarweiser Vergleich der Indikatoren:

Indikatoren des Kriteriums Räumliche Gegebenheit:

	Versiegelungsgrad	Hangneigung
Versiegelungsgrad	1	1/5
Hangneigung	5	1
Summe	6	1,20

	Versiegelungsgrad	Nutzungseinschränkungen	Indikatorenengewichtung
Versiegelungsgrad	0,166666667	0,166666667	16,67%
Nutzungseinschränkungen	0,833333333	0,833333333	83,33%
Summe	1	1	100,00%

	Versiegelungsgrad	Nutzungseinschränkungen	Summe	Ergebnis
Versiegelungsgrad	0,166666667	0,166666667	0,333333333	2
Nutzungseinschränkungen	0,833333333	0,833333333	1,666666667	2
				4

Consistency Index (CI) $\frac{2}{0}$
 Consistency Ratio (CR) $\frac{0}{1}$

4. Tabellen

4.1. Verwendete ATKIS-Objektarten zur Bearbeitung des Indikators Entfernung zu Infrastruktureinrichtungen (aus AdV: 2018)

	Objektart
Siedlung	AX_IndustrieUndGewerbeflaeche AX_Halde AX_Bergbaubetrieb AX_TagebauGrubeSteinbruch AX_FlaecheGemischterNutzung AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche AX_Friedhof
Verkehr	AX_Strassenverkehr AX_Strassenachse AX_Platz AX_Bahnverkehr AX_Bahnstrecke AX_Flugverkehr AX_Schiffsverkehr
Gewässer	AX_Hafenbecken
Bauwerke und Einrichtungen in Siedlungsflächen	AX_BauwerkOderAnlageFuerIndustrieUndGewerbe AX_Transportanlage AX_Leitung AX_BauwerkOderAnlageFuerSportFreizeitUndErholung AX_HistorischesBauwerkOderHistorischeEinrichtung AX_SonstigesBauwerkOderSonstigeEinrichtung (Trinkwasserbrunnen 1781 verwendet)
Besondere Anlagen auf Siedlungsflächen	AX_Hafen AX_Schleuse
Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen für den Verkehr	AX_BauwerkImVerkehrsbereich AX_Strassenverkehrsanlage AX_Bahnverkehrsanlage AX_Flugverkehrsanlage
Besondere Angaben zum Gewässer	AX_SchifffahrtslinieFaehrverkehr

4.2. Hemerobieklassifikation der Flächennutzungen im Untersuchungsraum

Folgende Tabelle diene als Grundlage zur Berechnung des Natürlichkeitsgrades. In der Tabelle sind ebenfalls die Hemerobie zuweisungen aus

ST = Stein, C. (2011): *Hemerobie als Indikator zur Landschaftsbewertung – eine GIS-gestützte Analyse für den Freistaat Sachsen*. 109 - 114.

LA = Lantzsich, P. (2005): *Untersuchungen zur Kennzeichnung (Darstellung) von Böden der Natur- und Kulturgeschichte nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz in Brandenburg*. Potsdam, 80.

SC = Schauer, P. (2006): *GIS-gestützte Prognose zur Landschaftszerschneidung im Freistaat Sachsen für das Jahr 2020, IÖR und TU Dresden zit. in Vogel, R. (2010): GIS-basierte multikriterielle Bewertung der Retentionseignung von Auenflächen - am Beispiel der Elbe*. Berlin, 296.

aufgeführt, die die Grundlage für die Wahl der Hemerobiestufe darstellen.

Landnutzung	ATKIS-Nutzungen	Gewählte Hemerobiestufe		Nach ST	Nach LA	nach SC
Vegetationslose Fläche	43007:1000	2	oligohemerob	2	-	-
Stehendes Gewässer	44006	2	oligohemerob	2 - 6	-	2
Fließgewässer	44001	2	oligohemerob	2 - 6	-	2
Laubholz	43002:1100	2	oligohemerob	2	-	2
Grünland	43001:1020	3	mesohemerob	3 / 4	-	3
Nadelholz	43002:1200	3	mesohemerob	3	-	4
Laub- und Nadelholz	43002:1300	3	mesohemerob	3	-	3 / 4
Gehölz	43003	3	mesohemerob	4	3	-
Heide	43004	3	mesohemerob	3	3	-

naturnahe Fläche	43007:1300	3	mesohemerob	-	-	3
Campingplatz	41008:4330	4	β -mesohemerob	6	4	-
Grünanlage	41008:4400	4	β -mesohemerob	4	-	4
Gartenbauland	43001:1030	4	β -mesohemerob	5	4	-
Obst- & Nussplantage	43001:1050	4	β -mesohemerob	3	4	-
Friedhof	41009	5	α -euhemorob	5	5	-
Ackerland	43001:1010	5	α -euhemorob	5	4	5
Baumschule	43001:1031	5	α -euhemorob	-	5	-
Rebfläche	43001:1040	5	α -euhemorob	5	4	5
Halde	41003	6	polyhemerob	6	-	-
Tagebau	41005	6	polyhemerob	6	6	-
Wildpark	41008:4220	6	polyhemerob	6	-	-
Schwimmen	41008:4320	6	polyhemerob	6	6	7
Parkplatz	42009:5310	6	polyhemerob	6	6	7
Rastplatz (Autobahn)	42009:5320	6	polyhemerob	6	6	7
Festplatz	42009:5350	6	polyhemerob	-	6	7
Schiffsverkehr	42016:5610	6	polyhemerob	6	-	-
Hafenbecken	44005	6	polyhemerob	6	-	-
Wasserwerk	41002:2520	7	metahemerob	6	7	7
Umspannstation	41002:2540	7	metahemerob	7	7	7
Klärwerk	41002:2610	7	metahemerob	6	7	7

Deponie (oberirdisch)	41002:2630	7	metahemerob	6	7	6
Fläche bes. Prägung	41007	7	metahemerob	7	-	7
Bildung & Wissenschaft	41007:1120	7	metahemerob	-	-	7
Gesundheit	41007:1150	7	metahemerob	-	-	7
Soziales	41007:1160	7	metahemerob	-	-	7
Sicherheit & Ordnung	41007:1170	7	metahemerob	-	-	7
Sport-, Freizeit	41008	7	metahemerob	6	6	7
Straßenverkehr	42001	7	metahemerob	7	7	-
Bahnverkehr	42010	7	metahemerob	6	-	7
Flugverkehr	42015	7	metahemerob	6 / 7	-	7

4.3. Versiegelungsgrad von Flächennutzungen

Verwendete ATKIS-Nutzungen zur Bearbeitung des Indikators Versiegelungsgrad. Dieser ist jeweils in Prozent angegeben.

Versiegelungsgrad	ATKIS-Nutzungen
95%	42001
78%	41001:200
75%	41002:2520, 41002:2540, 41002:2610, 41002:2630
70%	42009:5310, 42009:5320, 42009:5350
65%	41007; 41007:1120, 41007:1150, 41007:1160, 41007:1170
50%	42016:5610
41%	41001:1000
15%	42015
10%	42010
5%	41003, 41008, 41008:4110, 41008:4200, 41008:4310, 41008:4320, 41008:4330, 41008:4400
0%	41005, 42001:2312, 43001:1010, 43001:1020, 43001:1030, 43001:1040, 43001:1050, 43002:1100, 43002:1200, 43001:1300, 43003, 43004, 43007:1000, 43007:1300, 44001, 44005, 44006

Teilnehmerliste

Name, Vorname	Matr. Nr.
Eickelmann, Johanna	220209
Engels, Sofie	220210
Franzmann, Hannah	221163
Gayko, Noemi Yong-Mi	221112
Hijazi, Alaa	218164
Hölzner, Robin Lukas	219302
Hövel, Simon	220180
Kneilmann, Maja	220176
Knipper, Tim	220309
Niehues, Marc	218472
Paßlick, Oskar	219084
Pilarczyk, Sabrina	218760
Schlott, Mira	220295
Schmidt, Melanie	201663
Schultze-Schlutius, Theo	221117
Wrase, Till	218709