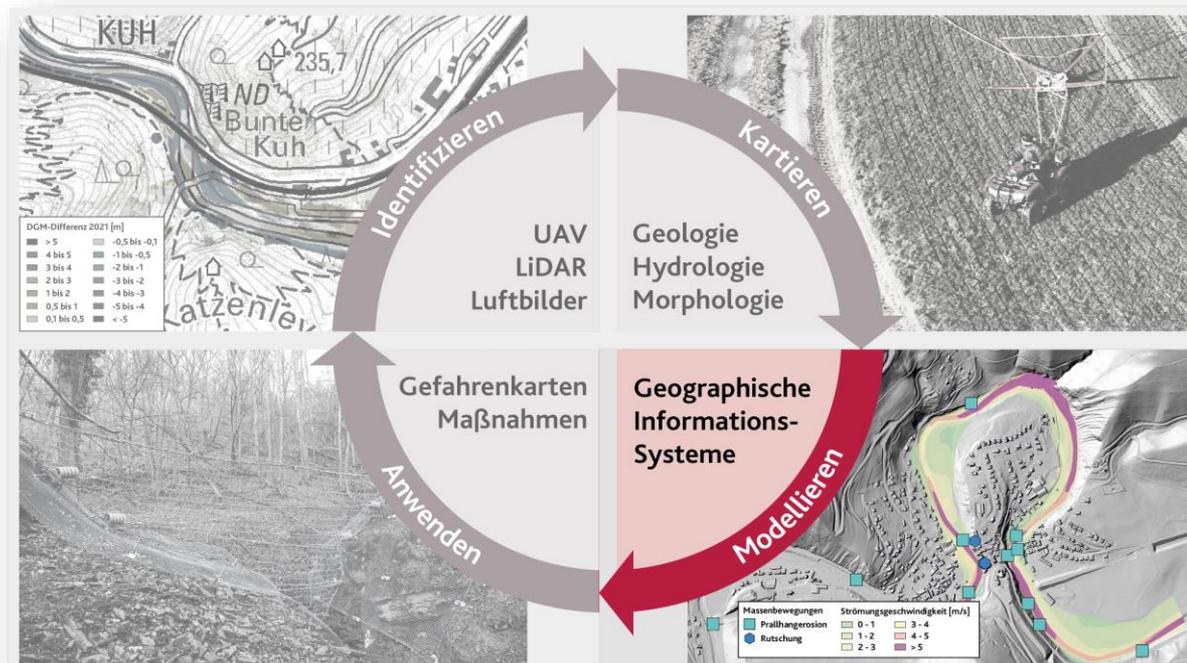


Vorsorgemaßnahmen gegen die Folgen von Starkregen



Methodischer Ansatz der Modellierungen



Prof. Dr. Frieder Enzmann, JGU Mainz



METHODISCHE ANSÄTZE DER MODELLIERUNG



- Fragestellungen und Ziele
- Einsatz welcher Modelle und Methoden zu welchem Zweck
- Wichtige Ergebnisse und Beispiele
- Noch zu lösende Probleme und Zusammenfassung





FRAGEN AN DIE MODELLE

- Unter welchen Bedingungen kommt es wo zu welchen Massenbewegungen?
- Lassen sich auslösende Faktoren und Standortfaktoren identifizieren modellieren?
- Reichweite und Energie auftretender MBs
- Einsatz der Modelle in die Planung effektive Vorsorge-Maßnahmen



ZIELE DER MODELLIERUNGEN



- Zusammenführung aller relevanten raumbezogenen Daten
- Räumlich hochaufgelöstes Modell der Realität
- Szenarien-Modellierungen von starkregeninduzierte Massenbewegungen (MBs)
- Ableitung von MB-Gefahrenhinweiskarten und Entwicklung/Testung von Abwehr-Maßnahmen als Vorsorge



EINSATZ VERSCHIEDENSTER MODELLE



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN



- Digitale Oberflächen- und Geländemodelle und Modifikationen mit hoher Auflösung und unterschiedlichen Zeitpunkten der Aufnahmen
- 3D-UAV Modelle
- Daten aus unterschiedlichsten Quellen





EINGESETZTE MODELLE

- Niederschlag, Abfluss und Sedimenttransport (dynamisch): SIMWE
- Massenbewegungen: Muren, flache Rutschungen, Steinschlag: Gravitational-Process Path-Models (GPP)
- Landschaftsentwicklung: Erosionsmodellierung Teile des SaLEM-Modells
- Vielzahl von Terrain-Analyse Modellen (Morphologie, Hydrologie, SIDX)



INGENIEURGEOLOGISCHE MODELLE



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN



- Hangstabilität (Sicherheitsfaktor als Verhältnis haltende/treibende Kräfte)
- Bodenfeuchte-Modelle (TOPMODEL und Varianten, WETNESS)
- Felsstabilitäten: Richtungsanalysen, multiTOBIA, WEDGEFAIL (Doktorarbeit P.Süßer, MABEIS)



SUSZEPTIBILITÄTS- UND POTENTIALMODELLE



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN



- Kombination der Eingangs- und Ergebnisdaten der eingesetzten Modelle:
Faktorenkombinationen (Konfusion) und statistische Modelle, z.B. FR, WoE
- Gegenseitige Validierung mit Geländebefunden
- Quantifizierung der „Vorhersagegüte“, z.B. durch ROC (Receiver Operating Characteristic)



MODELLIERUNGS- WERKZEUGE



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN



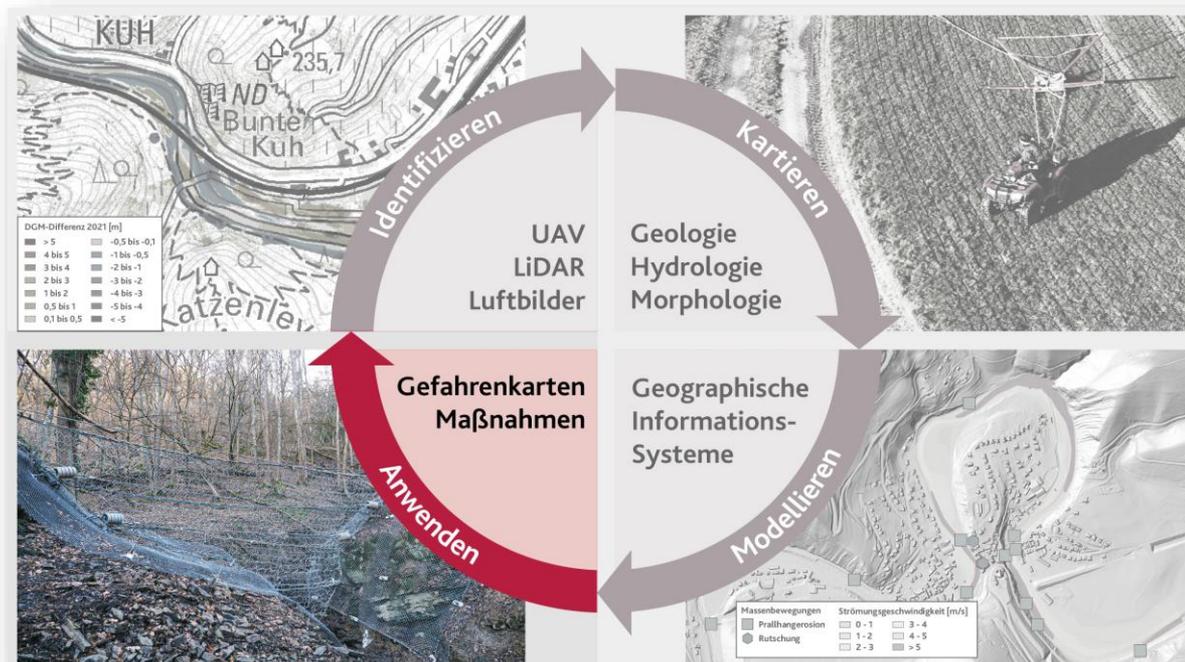
- Einsatz von Open-Source Software (GRASS-, SAGA- und QGIS)
- Hochgradige Automatisierung der Rechenprozesse via Python zur Realisierung von Szenariensimulationen
- Geostatistik und perspektivisch mit Künstlicher Intelligenz



Vorsorgemaßnahmen gegen die Folgen von Starkregen



Ergebnisse



Jan Philip Hofmann, LGB



PILOTPHASE WICHTIGE ERGEBNISSE I



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



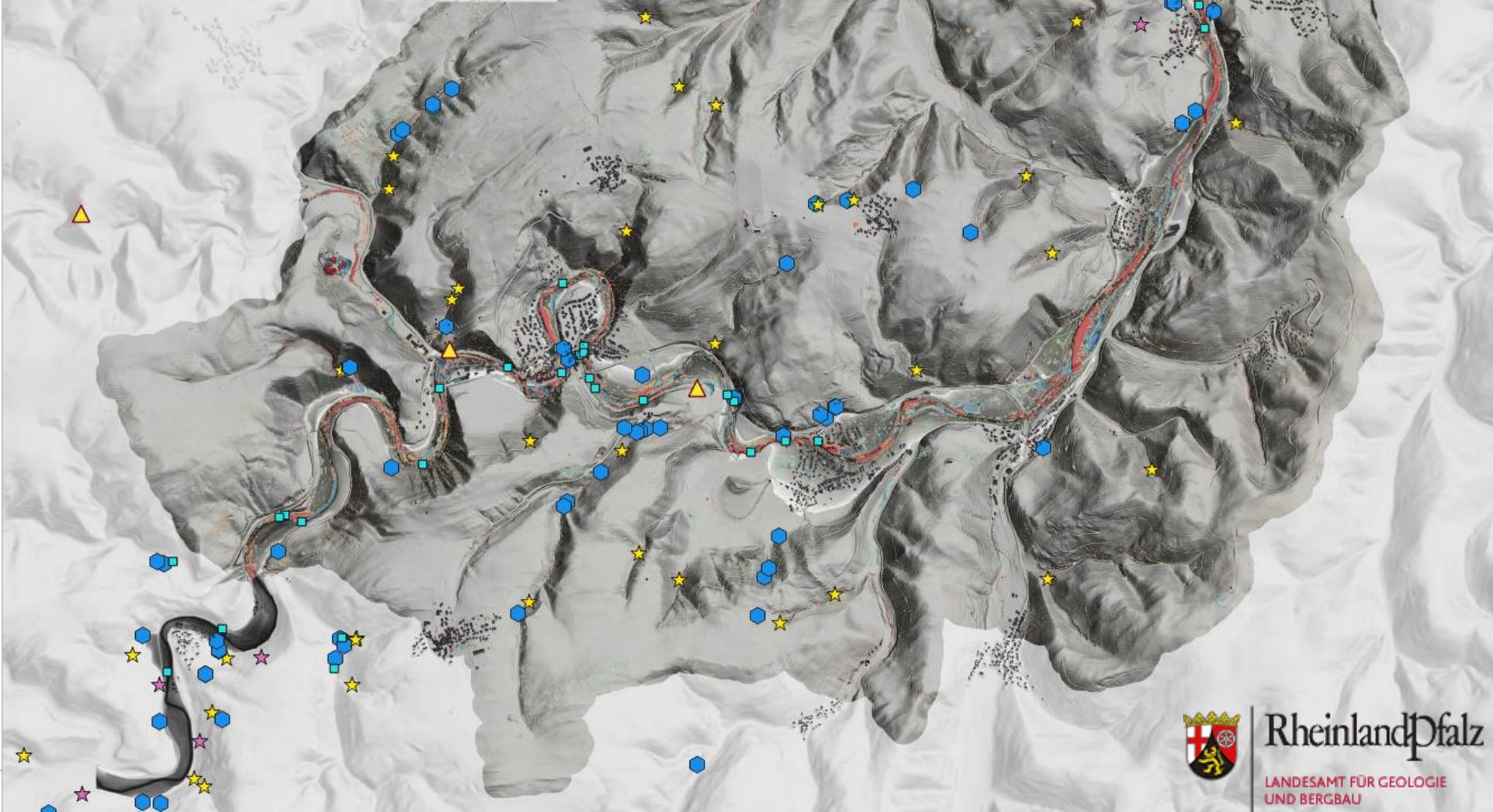
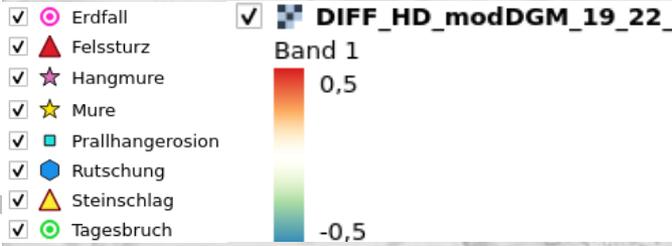
GEO
WISSEN
SCHAFTEN



- Varianten **Differential-ALS** (DGM) zeigen extrem gute Übereinstimmung von **Veränderungen im Gelände** (MBs alle detektier- und im Gelände nachweisbar!)
- Differential-ALS (DOM) zeigen teils drastische Änderungen in der Vegetation (umgestürzte Bäume) und gute Übereinstimmung mit „Baumstamm“-Modellen (für den Einsatz in Strömungs- und GPP-Modellen)



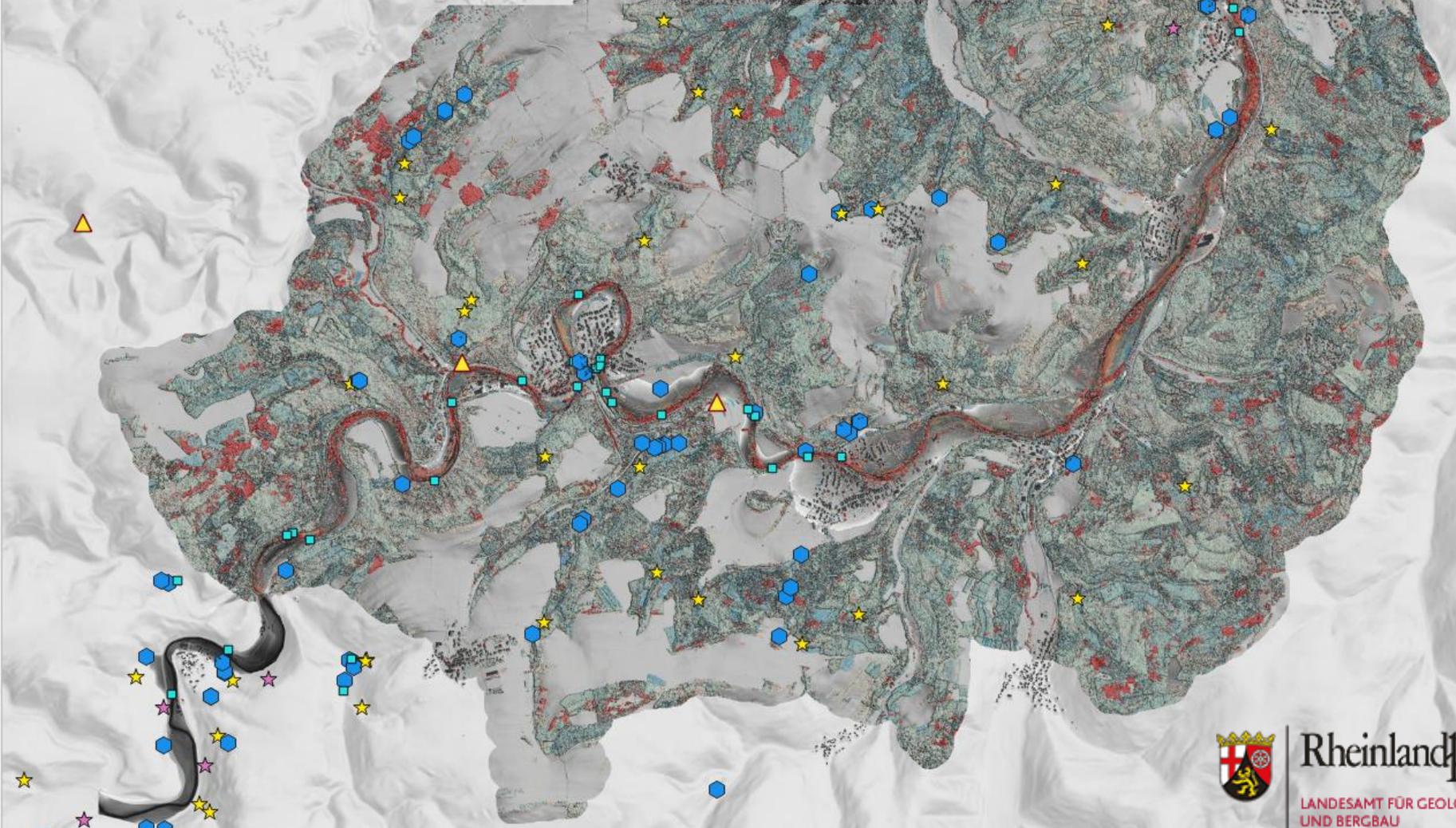
Ergebnisse I: MB-Inventar und Differential-ALS DGM Modell



Ergebnisse I: MB-Inventar und Differential-ALS DOM Modell



- Erdfall
 - Felssturz
 - Hangmure
 - Mure
 - Prallhangerosion
 - Rutschung
 - Steinschlag
 - Tagesbruch
- DIFF_DOM_19_22_**
Band 1
-
- 2
-2



Ergebnisse I: Vorläufige erste Massenbilanz der Umlagerung (OHNE Gebäude-Differenzen)



Innerhalb des Überflutungsgebietes der Ahr:

Ablagerungen: +307 786 m³

Erosionen: - 334 520 m³

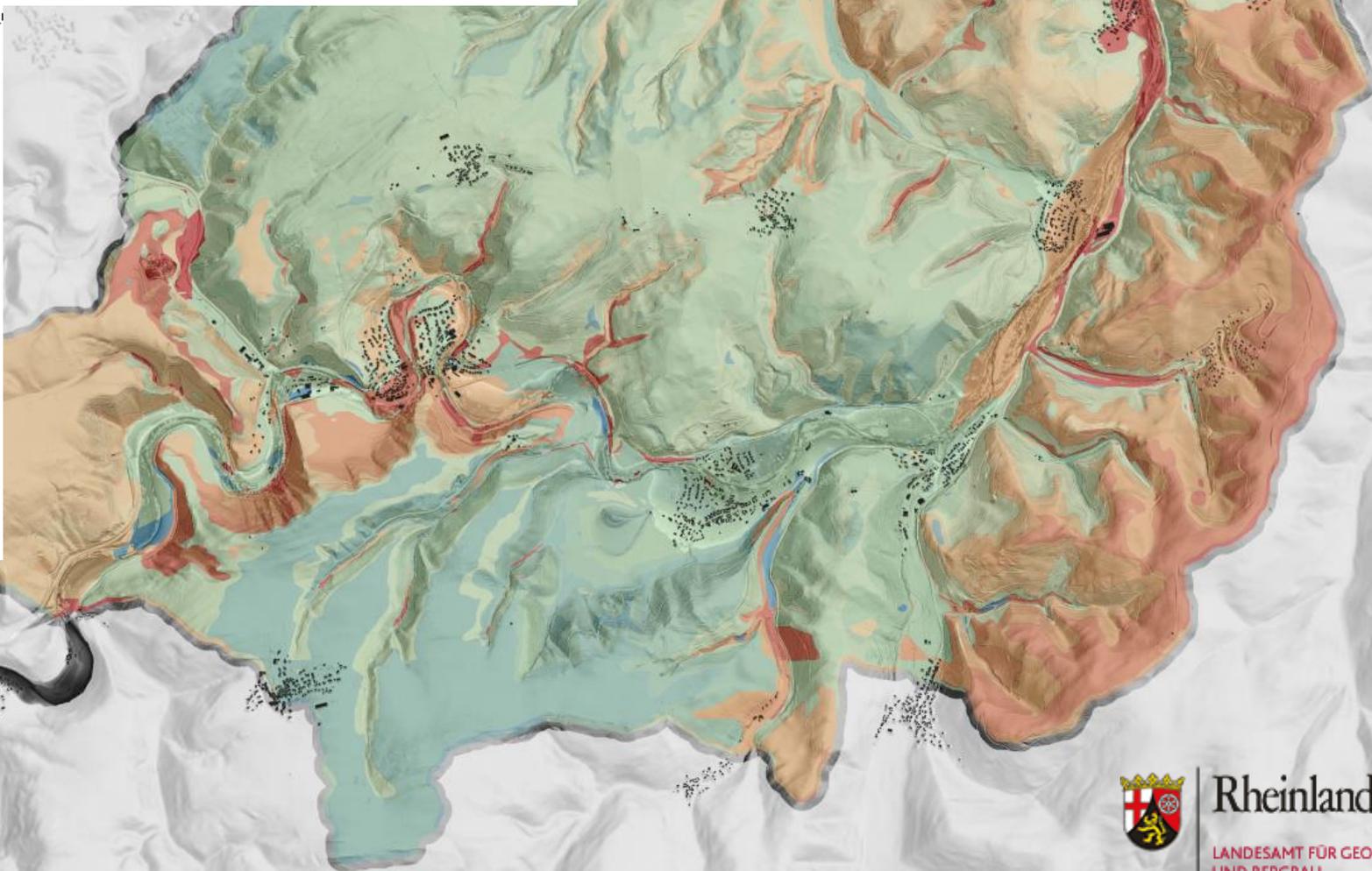
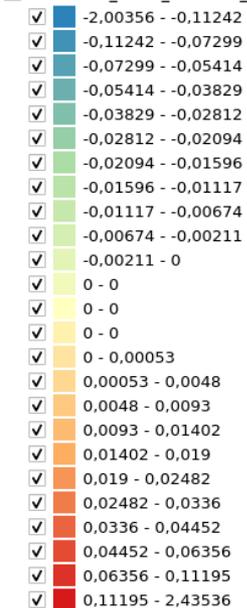
Übriges Gebiet ohne Ahr-Überflutungsfläche:

Ablagerungen: +906 384 m³

Erosionen: - 835 920 m³

Gesamtbilanz: 43 731 m³ (Ablagerung!)

GEOM_after_EROSIM_1



PILOTPHASE WICHTIGE ERGEBNISSE II



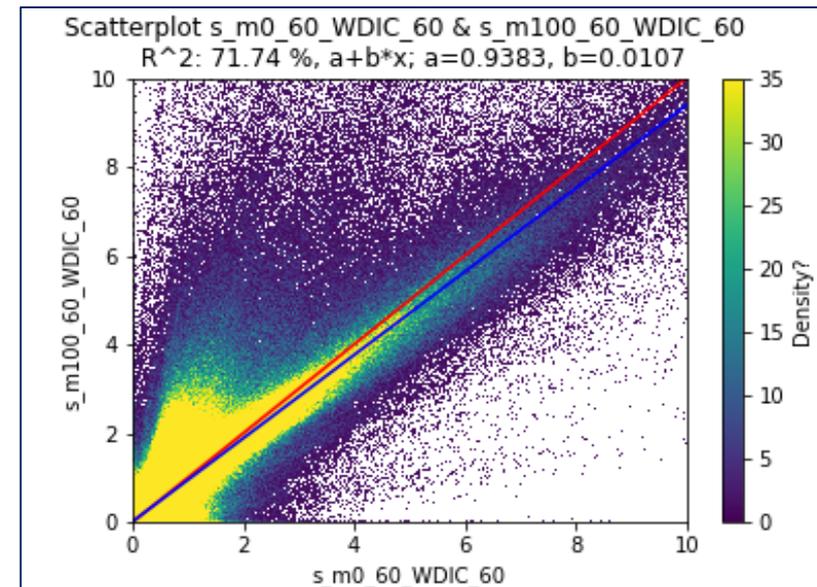
- Oberflächenabfluss-Simulation realitätsnah
- **Simulationsvarianten** zeigen unterschiedlich starken Einfluss des Abflussverhaltens (Varianten mit/ohne Bäume, Weg-Durchbrüche, Infiltration, Oberflächenrauigkeiten, Vegetation)
- Deutliche **räumliche Korrelation** zwischen Gerinne-Erosion und Ablagerungen



ERGEBNISSE II

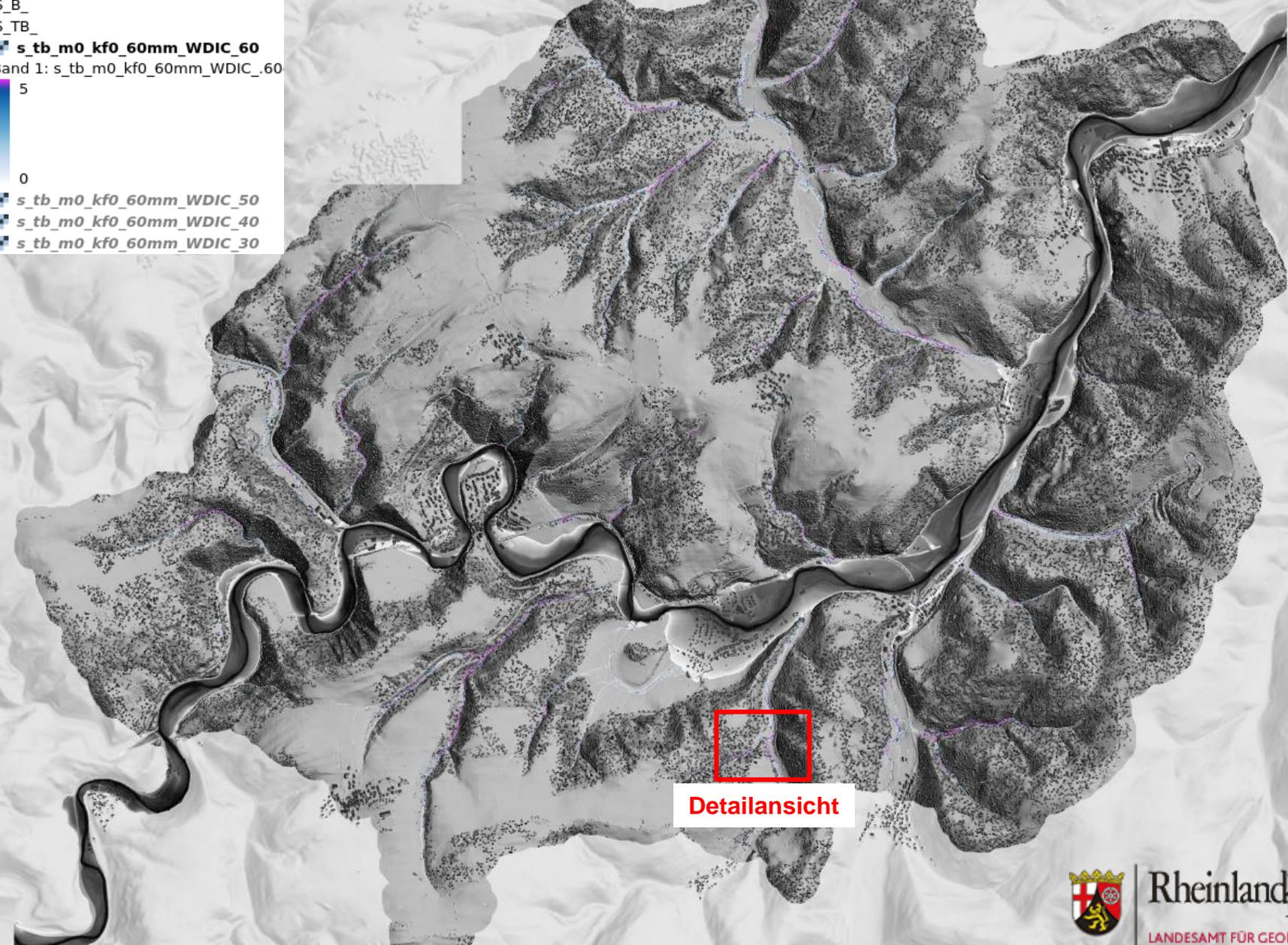
AUSWIRKUNGEN EINGANGSGRÖSSEN

- Durch Umströmung der Baumstämme Zunahme der Strömungsgeschwindigkeiten
- Höhere Strömungsgeschwindigkeiten bei differenzierte Oberflächenflächenrauigkeit
- Gegenseitige Verstärkung der Effekte
- Zunahme der Strömungsdivergenz



Ergebnisse II: Übersicht Abfluss-Simulation WDIC [m³/s] mit Umströmung von Baumstämmen

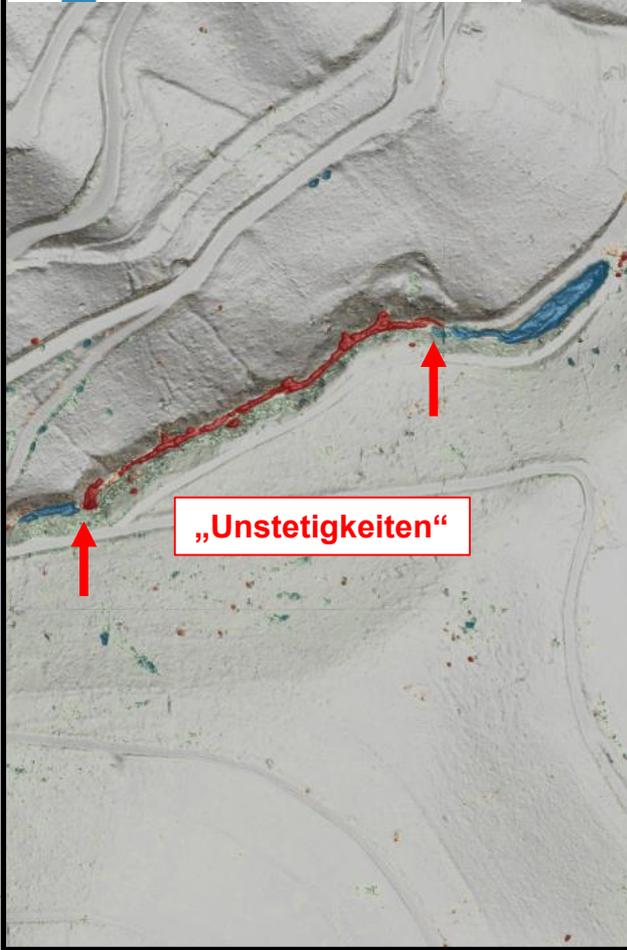
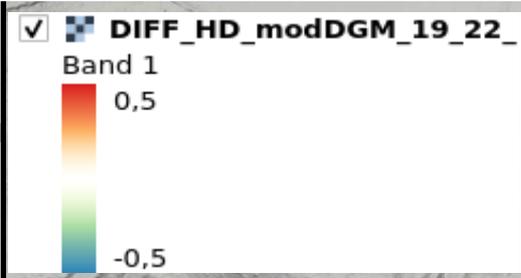
- S_B_
 - S_TB_
 - s_tb_m0_kf0_60mm_WDIC_60
- Band 1: s_tb_m0_kf0_60mm_WDIC_60
-
- 5
- 0
- s_tb_m0_kf0_60mm_WDIC_50
 - s_tb_m0_kf0_60mm_WDIC_40
 - s_tb_m0_kf0_60mm_WDIC_30



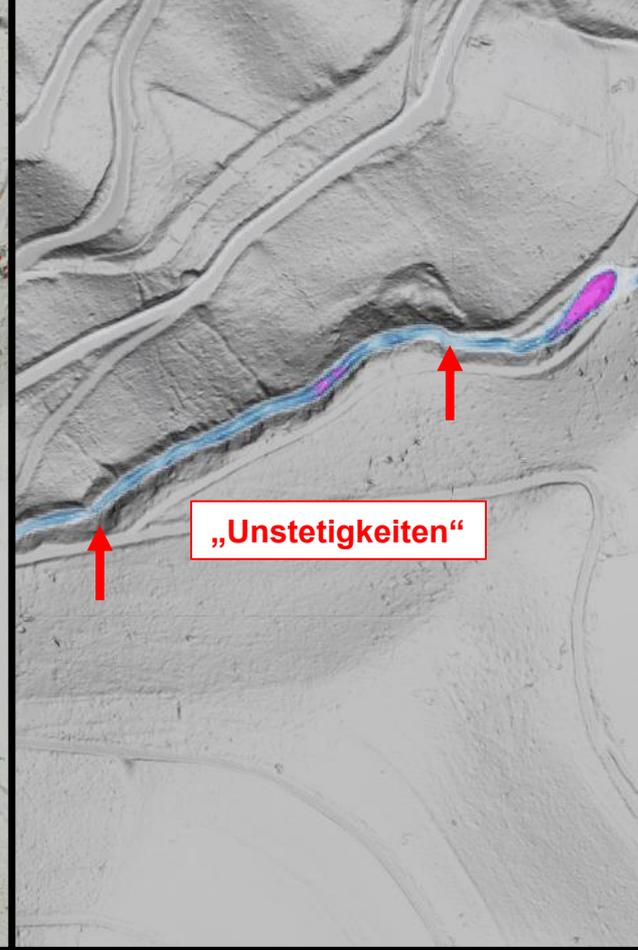
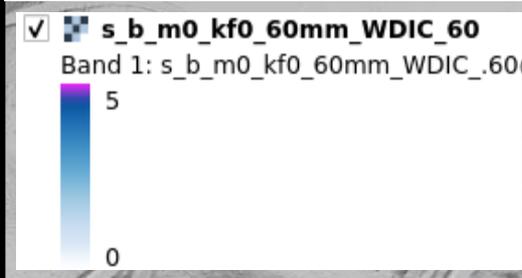
Detailansicht

Diff-ALS DGM (20cm)

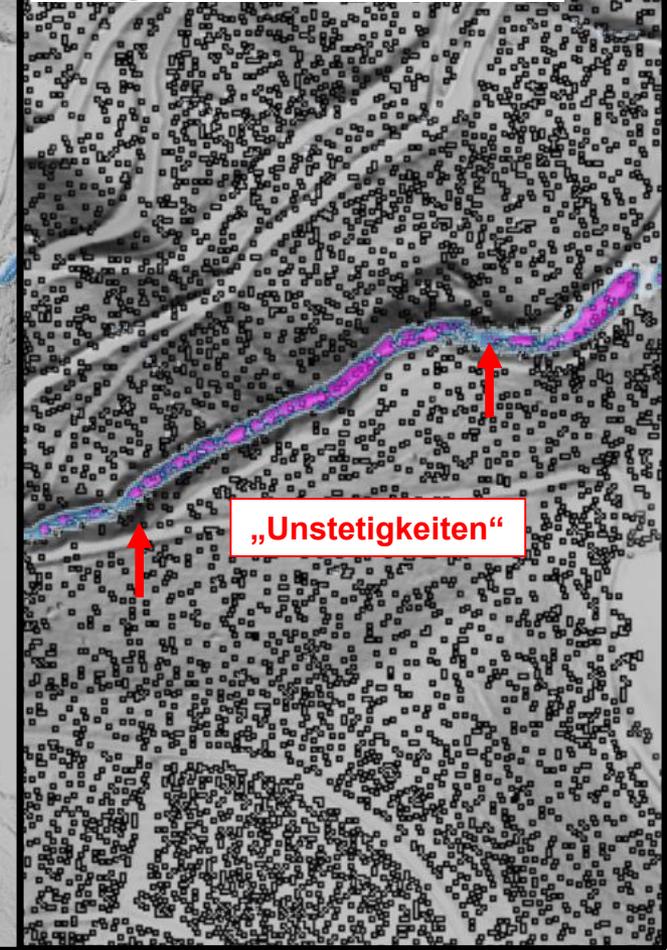
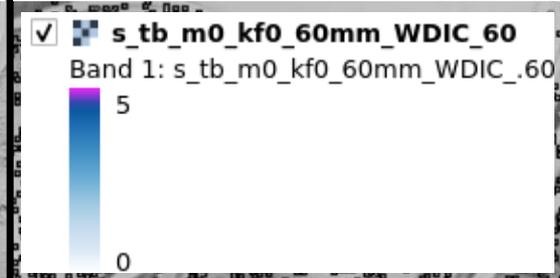
Rot: Erosion
Blau: Ablagerungen



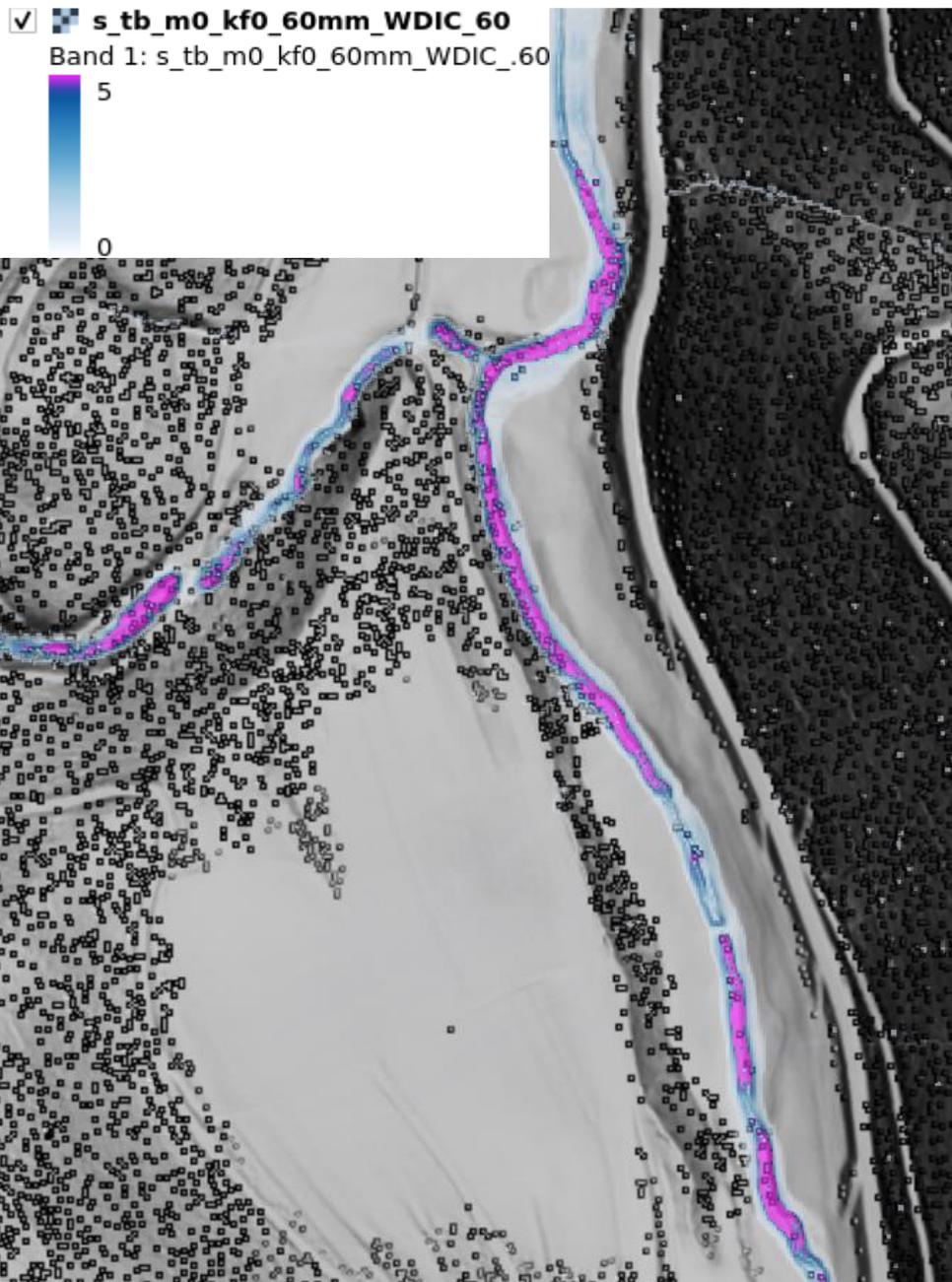
DGM Strömungsfeld WDIC [m³/s] OHNE Baumstämmen



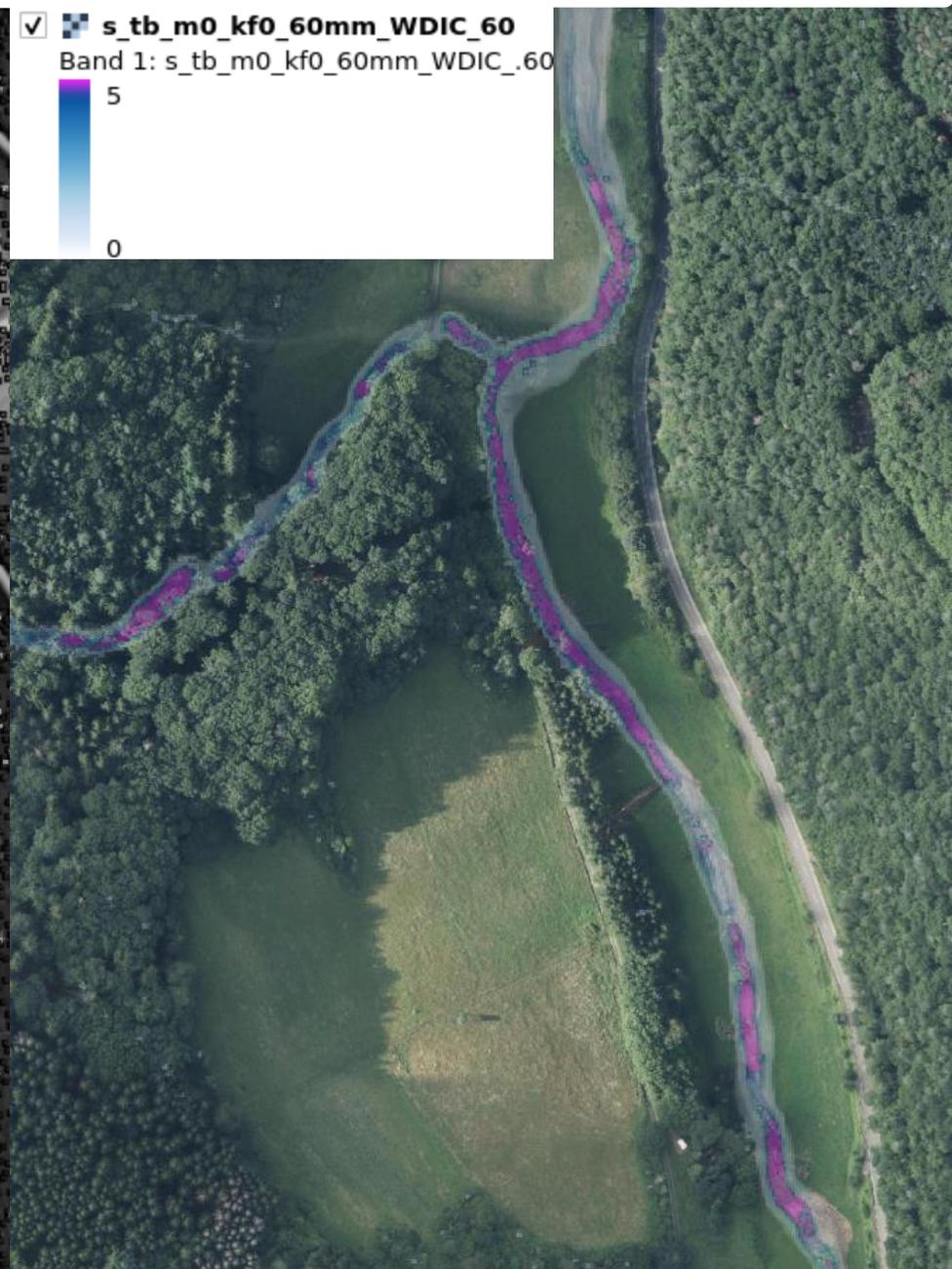
DGM Strömungsfeld WDIC [m³/s] MIT Baumstämmen



Ergebnisse II: Detailansicht DGM Strömungsfeldes WDIC [m³/s] MIT BS



Ergebnisse II: Detailansicht DOP10, 08/21 Strömungsfeldes WDIC [m³/s] MIT BS



PILOTPHASE WICHTIGE ERGEBNISSE III



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN

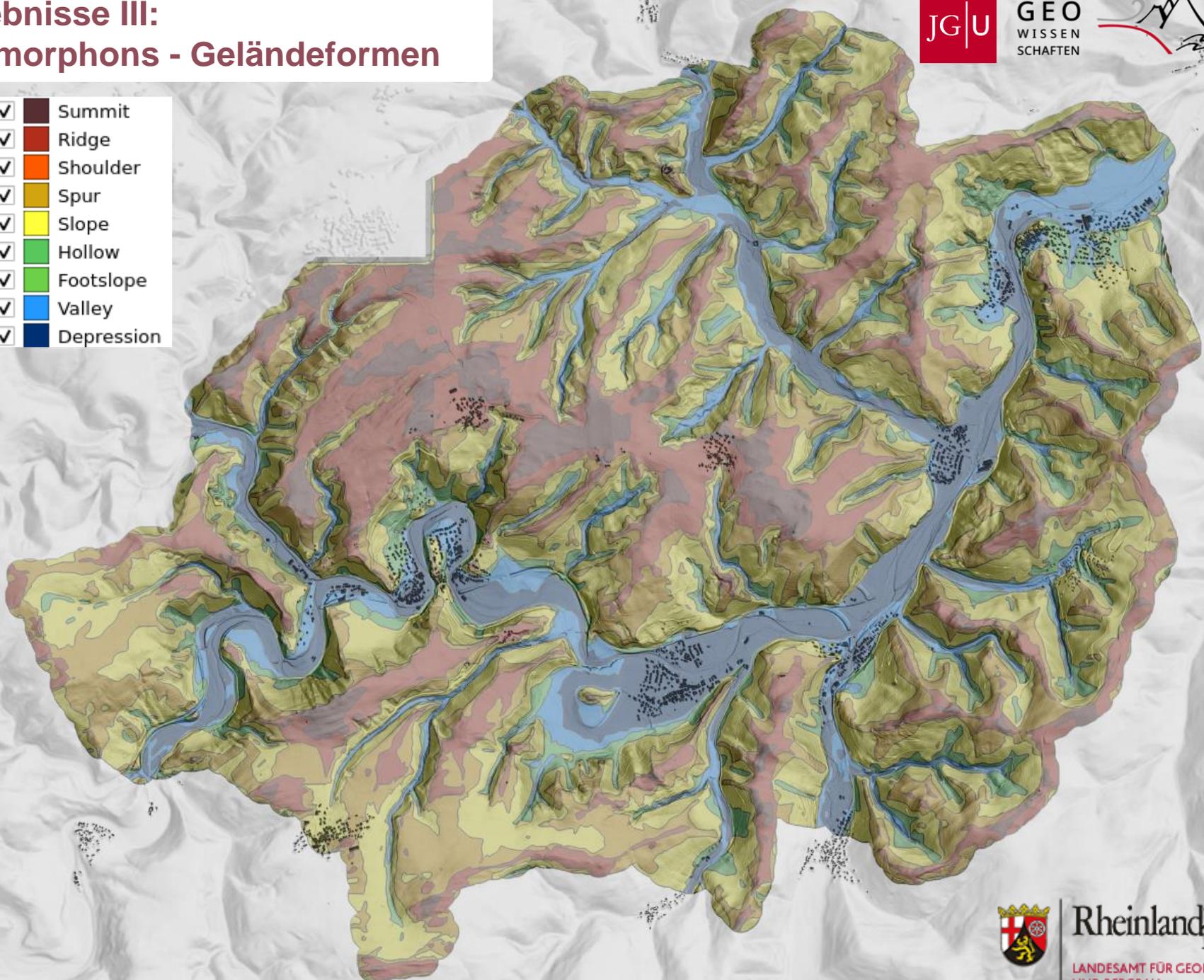


- **Massenbewegungen lokalisiert**, wo deutlich erhöhter spezifischer Fluss bezogen auf Flächen und erhöhter topographischer Reliefenergie
- **Simulierte Deckschichtenmächtigkeit** zeigt gute **Korrelation mit Kartierungen**
- Erste **Ingenieurgeologische Modelle** zeigen deutlichen räumlichen Zusammenhang zu MBs, **fast alle Massenbewegungen lassen sich nachweisen!**



Ergebnisse III: Geomorphons - Geländeformen

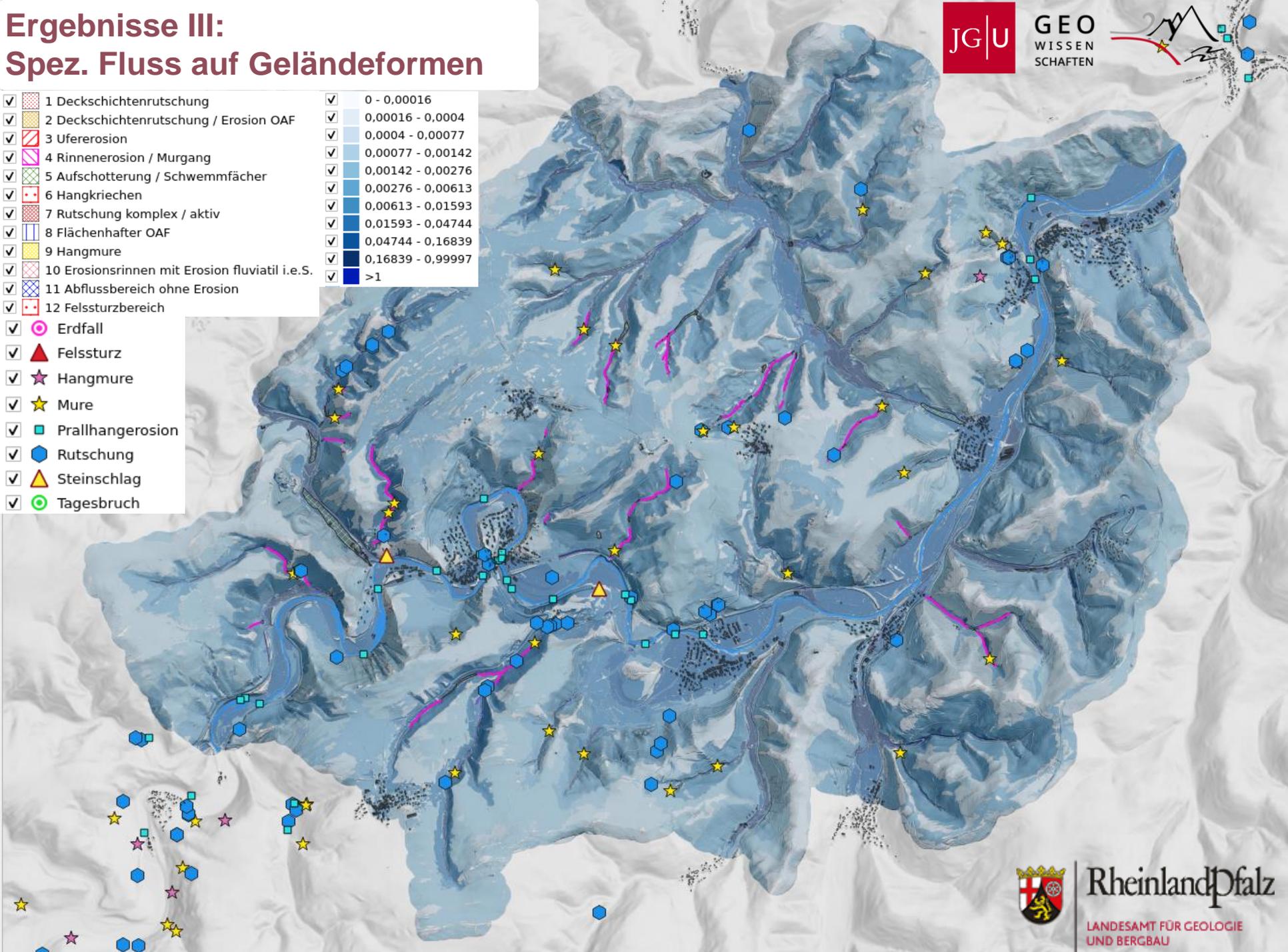
- ✓ Summit
- ✓ Ridge
- ✓ Shoulder
- ✓ Spur
- ✓ Slope
- ✓ Hollow
- ✓ Footslope
- ✓ Valley
- ✓ Depression



Ergebnisse III: Spez. Fluss auf Geländeformen



- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 Deckschichtenrutschung | <input checked="" type="checkbox"/> 0 - 0,00016 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2 Deckschichtenrutschung / Erosion OAF | <input checked="" type="checkbox"/> 0,00016 - 0,0004 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3 Ufererosion | <input checked="" type="checkbox"/> 0,0004 - 0,00077 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 4 Rinnenerosion / Murgang | <input checked="" type="checkbox"/> 0,00077 - 0,00142 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 5 Aufschotterung / Schwemmflächen | <input checked="" type="checkbox"/> 0,00142 - 0,00276 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 6 Hangkriechen | <input checked="" type="checkbox"/> 0,00276 - 0,00613 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 7 Rutschung komplex / aktiv | <input checked="" type="checkbox"/> 0,00613 - 0,01593 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 8 Flächenhafter OAF | <input checked="" type="checkbox"/> 0,01593 - 0,04744 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 9 Hangmure | <input checked="" type="checkbox"/> 0,04744 - 0,16839 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 10 Erosionsrinnen mit Erosion fluvial i.e.S. | <input checked="" type="checkbox"/> 0,16839 - 0,99997 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 11 Abflussbereich ohne Erosion | <input checked="" type="checkbox"/> >1 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 12 Felssturz | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Erdfall | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Felssturz | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Hangmure | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mure | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Prallhangerosion | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Rutschung | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Steinschlag | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tagesbruch | |



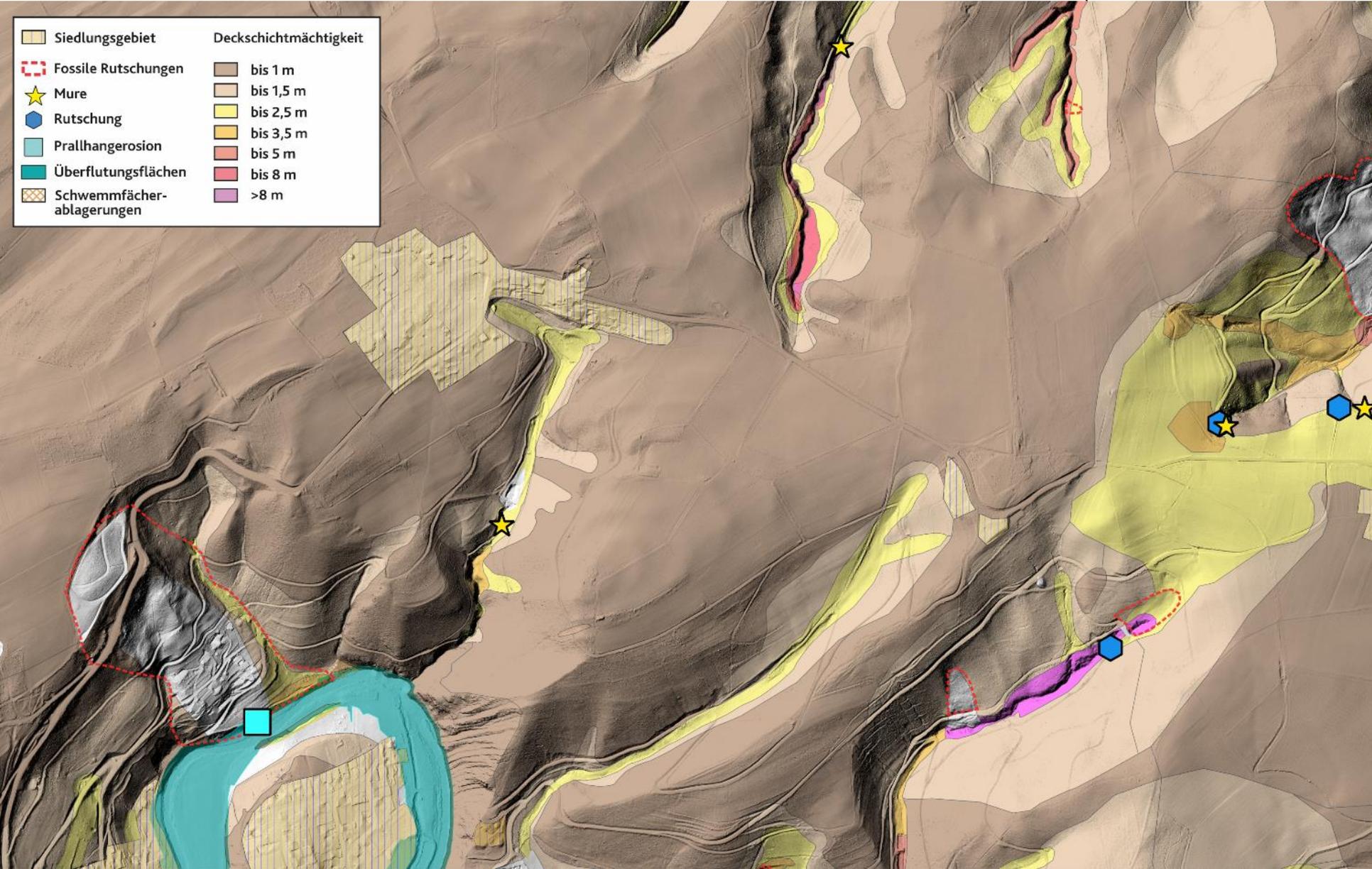
DECKSCHICHTMÄCHTIGKEIT



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU

Siedlungsgebiet	Deckschichtmächtigkeit
Fossile Rutschungen	bis 1 m
Mure	bis 1,5 m
Rutschung	bis 2,5 m
Prallhangerosion	bis 3,5 m
Überflutungsflächen	bis 5 m
Schwemmfächer-ablagerungen	bis 8 m
	>8 m

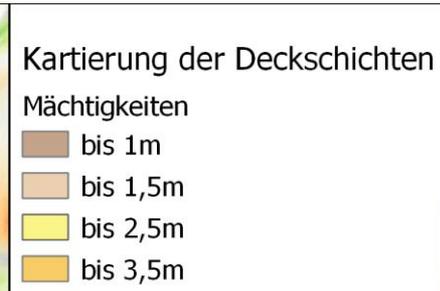
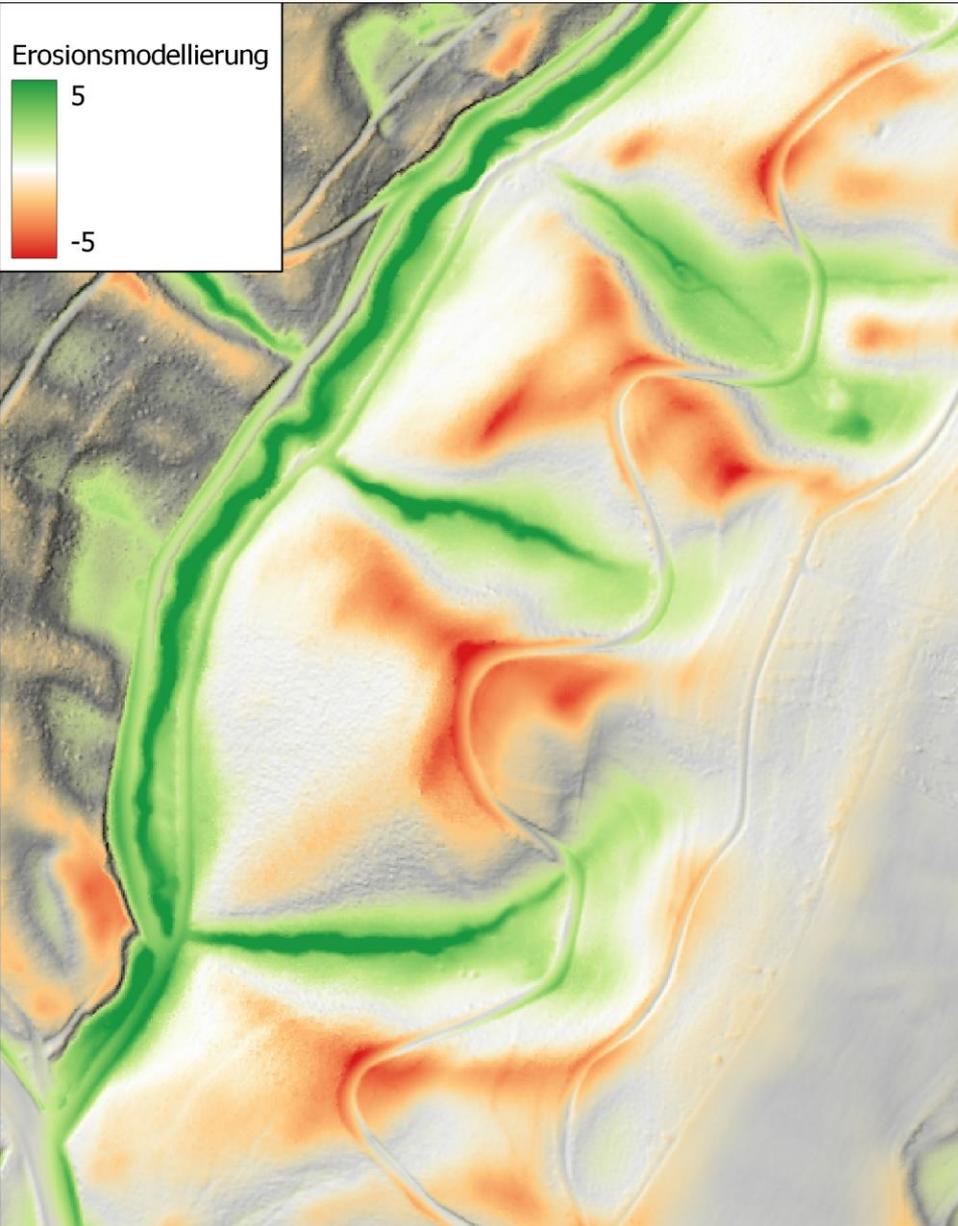
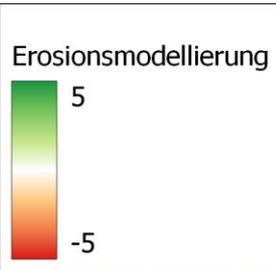


DECKSCHICHTMÄCHTIGKEIT



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



Ergebnisse III: Übersicht MB-Inventar und SF+WS Modellierung kombiniert

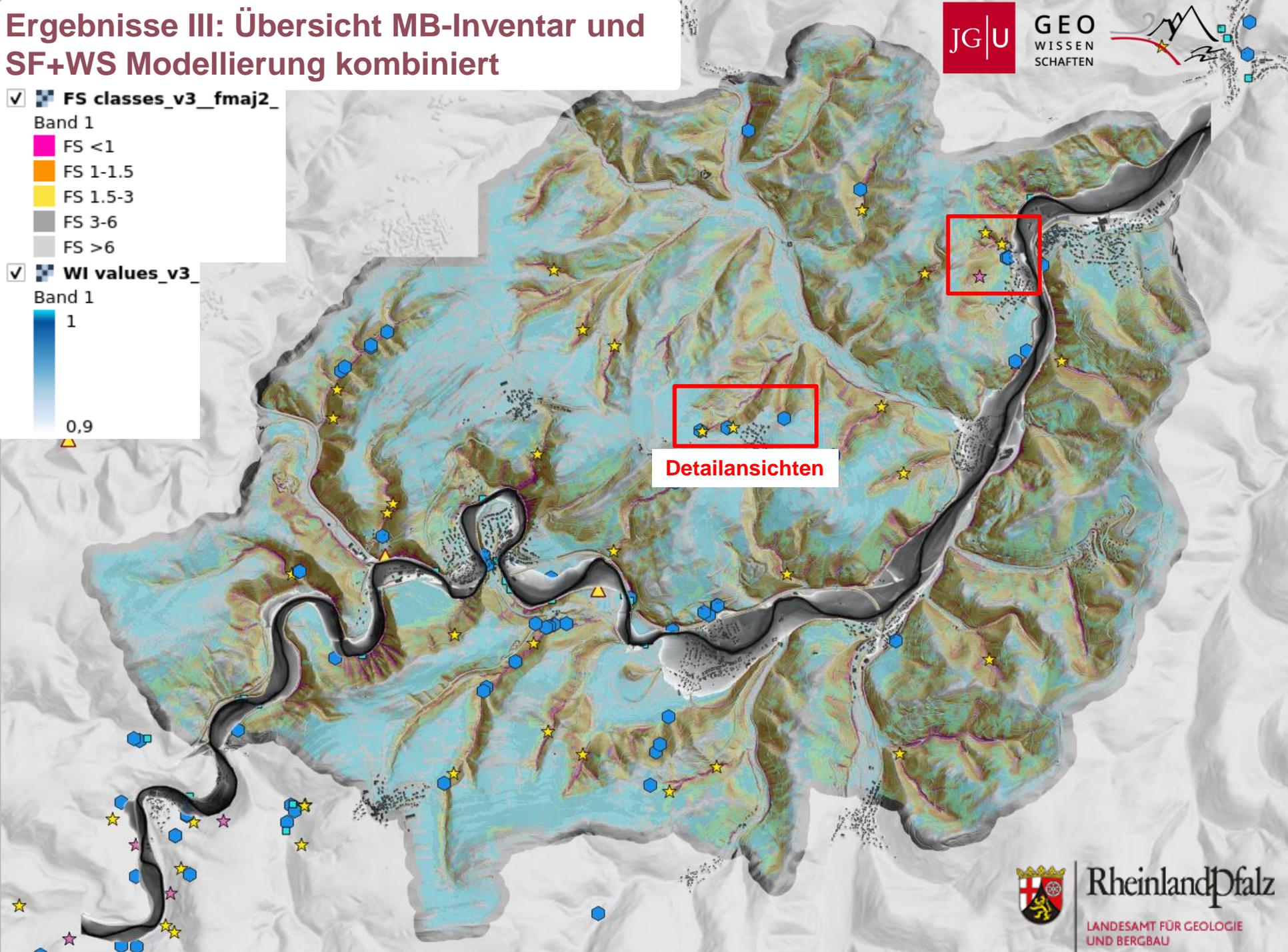
✓ **FS classes_v3_fmaj2_**
Band 1

- FS <1
- FS 1-1.5
- FS 1.5-3
- FS 3-6
- FS >6

✓ **WI values_v3_**
Band 1

1

0,9



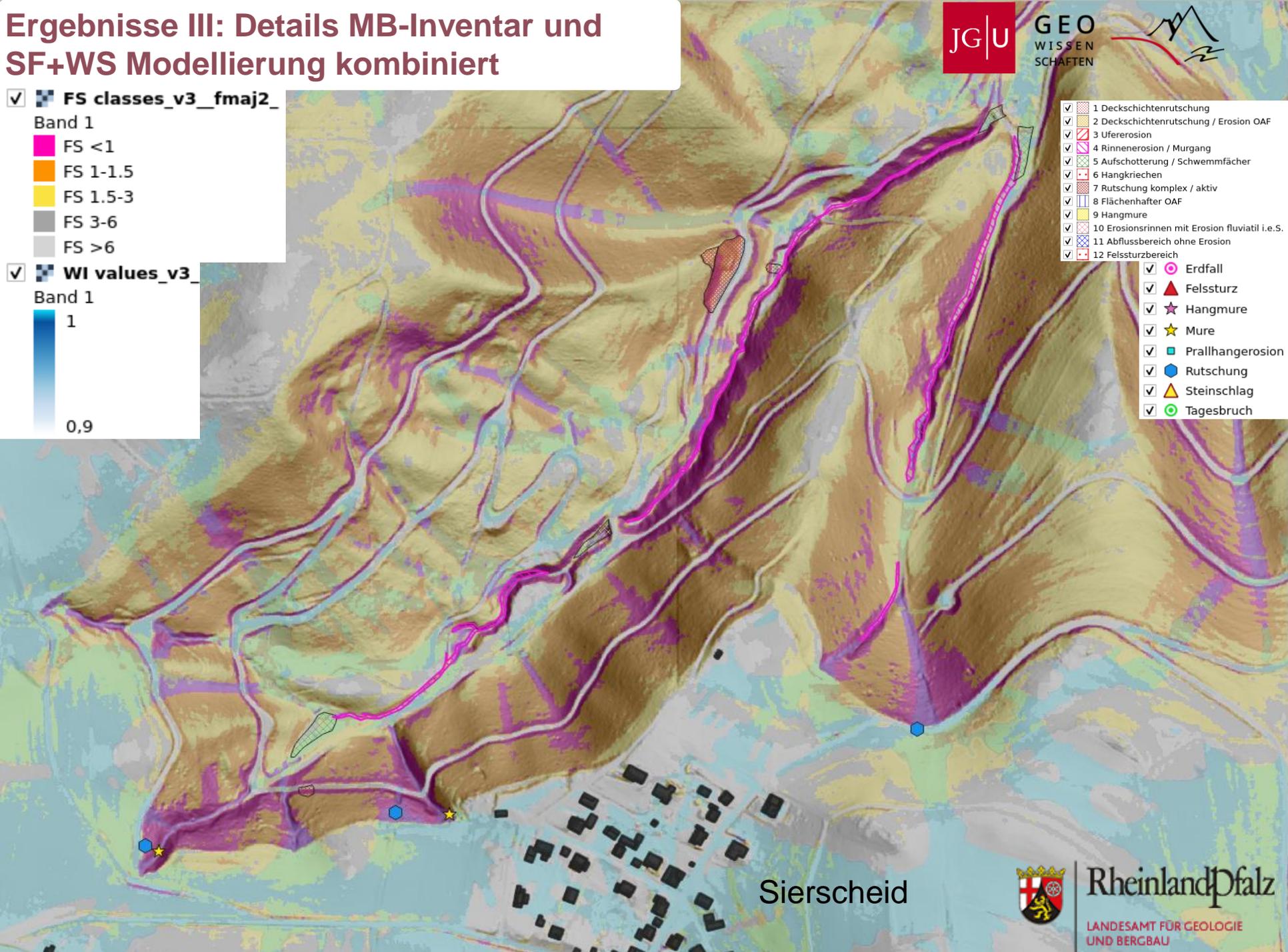
Detailansichten

Ergebnisse III: Details MB-Inventar und SF+WS Modellierung kombiniert



- ✓ **FS classes_v3_fmaj2_**
Band 1
 - FS <1
 - FS 1-1.5
 - FS 1.5-3
 - FS 3-6
 - FS >6
- ✓ **WI values_v3_**
Band 1
 - 1
 - 0,9

- ✓ 1 Deckschichtenrutschung
- ✓ 2 Deckschichtenrutschung / Erosion OAF
- ✓ 3 Ufererosion
- ✓ 4 Rinnenerosion / Murgang
- ✓ 5 Aufschotterung / Schwemmächer
- ✓ 6 Hangkriechen
- ✓ 7 Rutschung komplex / aktiv
- ✓ 8 Flächenhafter OAF
- ✓ 9 Hangmure
- ✓ 10 Erosionsrinnen mit Erosion fluviatl i.e.s.
- ✓ 11 Abflussbereich ohne Erosion
- ✓ 12 Felssturz
- ✓ Erdfall
- ✓ Felssturz
- ✓ Hangmure
- ✓ Mure
- ✓ Prallhangerosion
- ✓ Rutschung
- ✓ Steinschlag
- ✓ Tagesbruch



Sierscheid



PILOTPHASE WICHTIGE ERGEBNISSE IV



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN

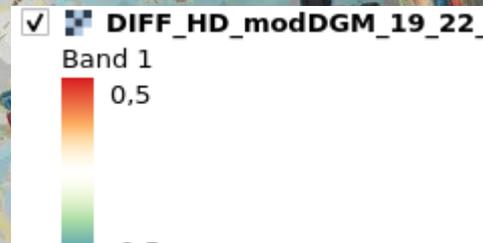
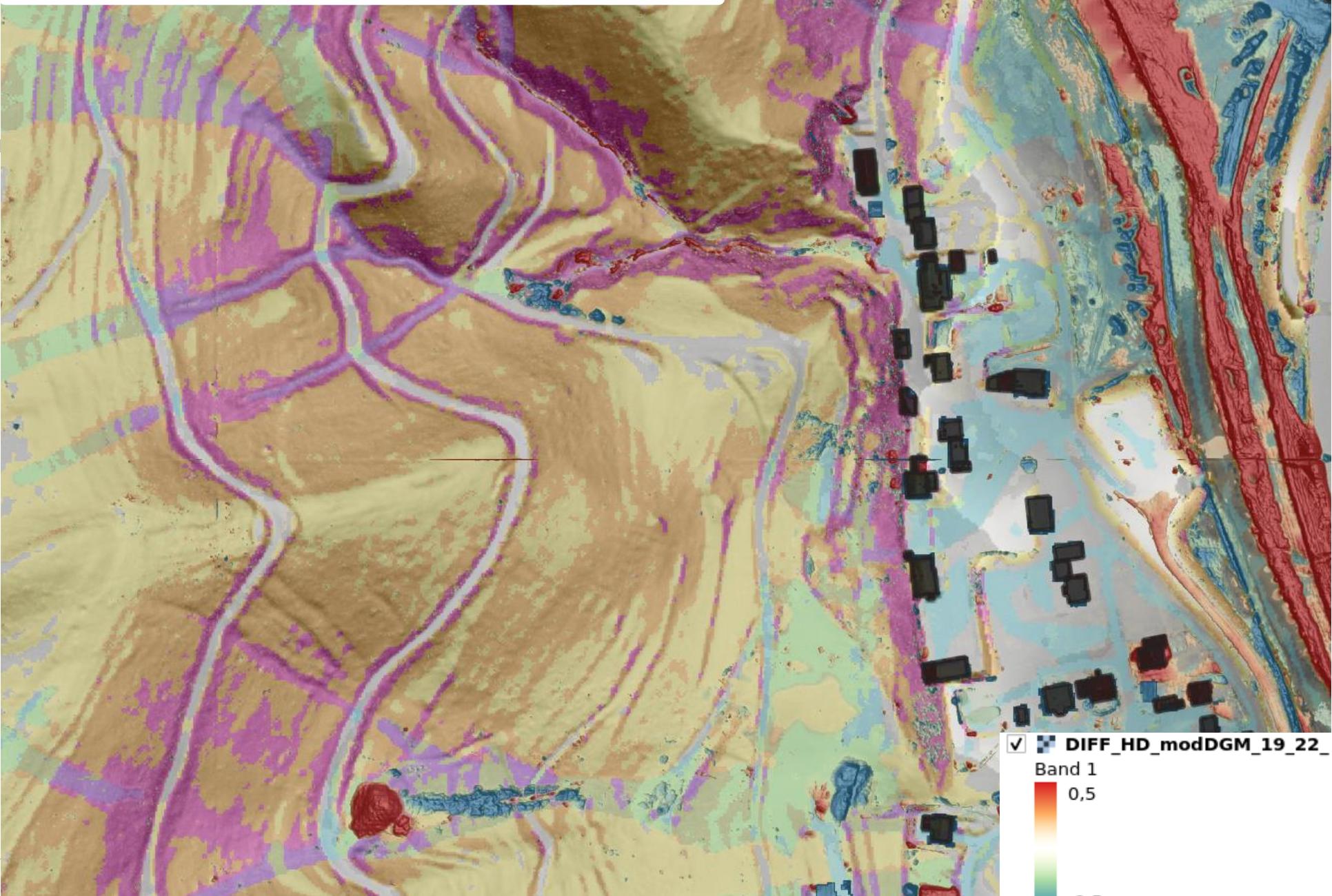


Beispiele prozessbasierte Modellierung spezifischer Massenbewegungen und Sicherungsmaßnahmen

- Murgänge bei Hönningen
- Steinschlag/Felssturz bei Walporzheim



Ergebnisse IV: Details ALS-DIFF DGM SF + WS Modellierung; Murgänge Hönningen



MURGÄNGE



Rheinland-Pfalz

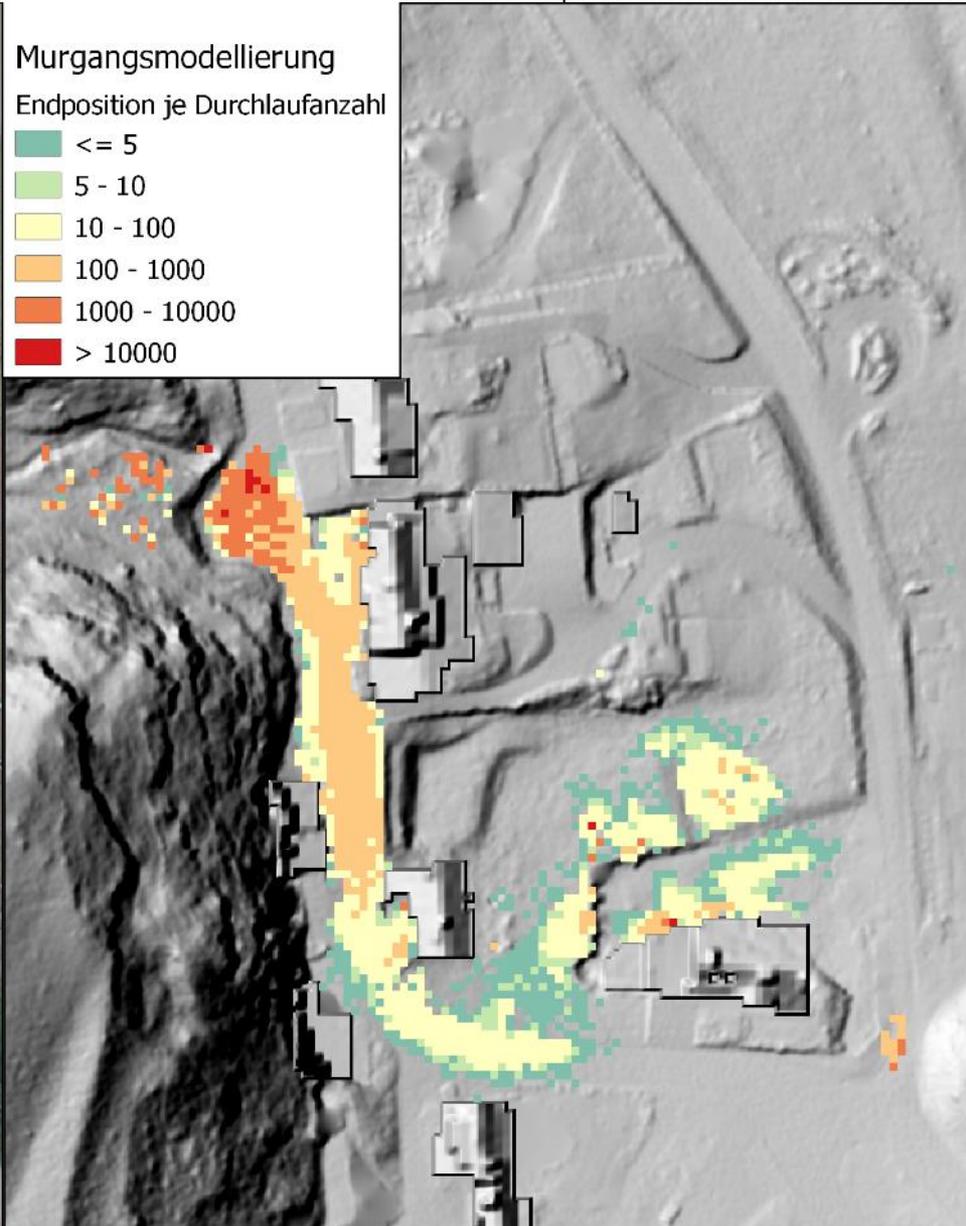
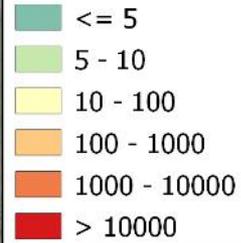
LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



Hönningen

Murgangsmodellierung

Endposition je Durchlaufanzahl



MURGANSSPERRE



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



Ergebnisse IV: Untersuchung und Modellierung der Mure bei Biersdorf am See (Hagge-Kubat et al., 2022, Geosciences, 12, 245.)



Legend

- observed debris flow runout
- calculated trigger areas

Debris flow simulation

Runout frequency

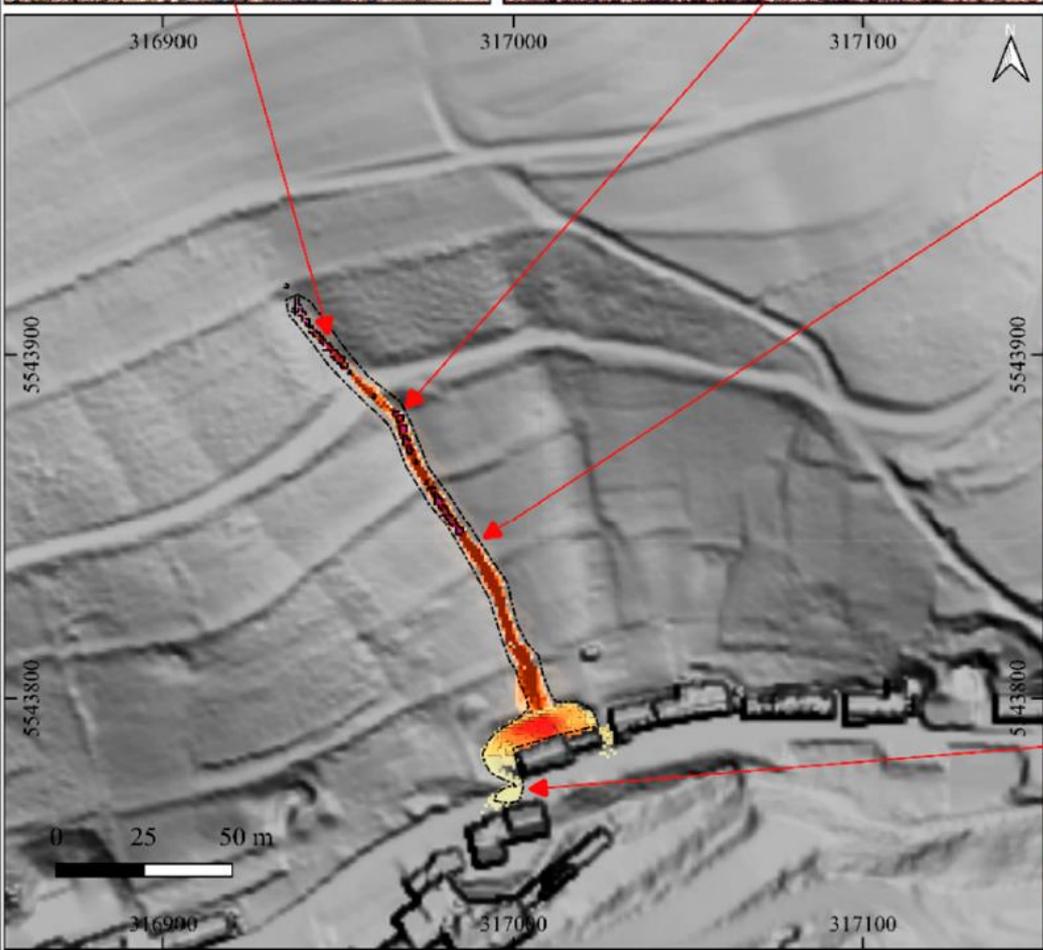
- high
- low

Deposition height

- 3 m
- 0,1 m

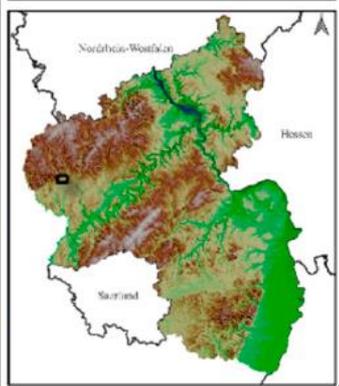
Isolines of deposition

- 0.3 m



Map basis:
 LiDAR flight 2018 (LVermGEO RLP)
 DTK5 (LVermGEO)

Photos:
 A. Weiler (07/15/2021; 07/22/2021)
 C. Pappert (09.08.2021)

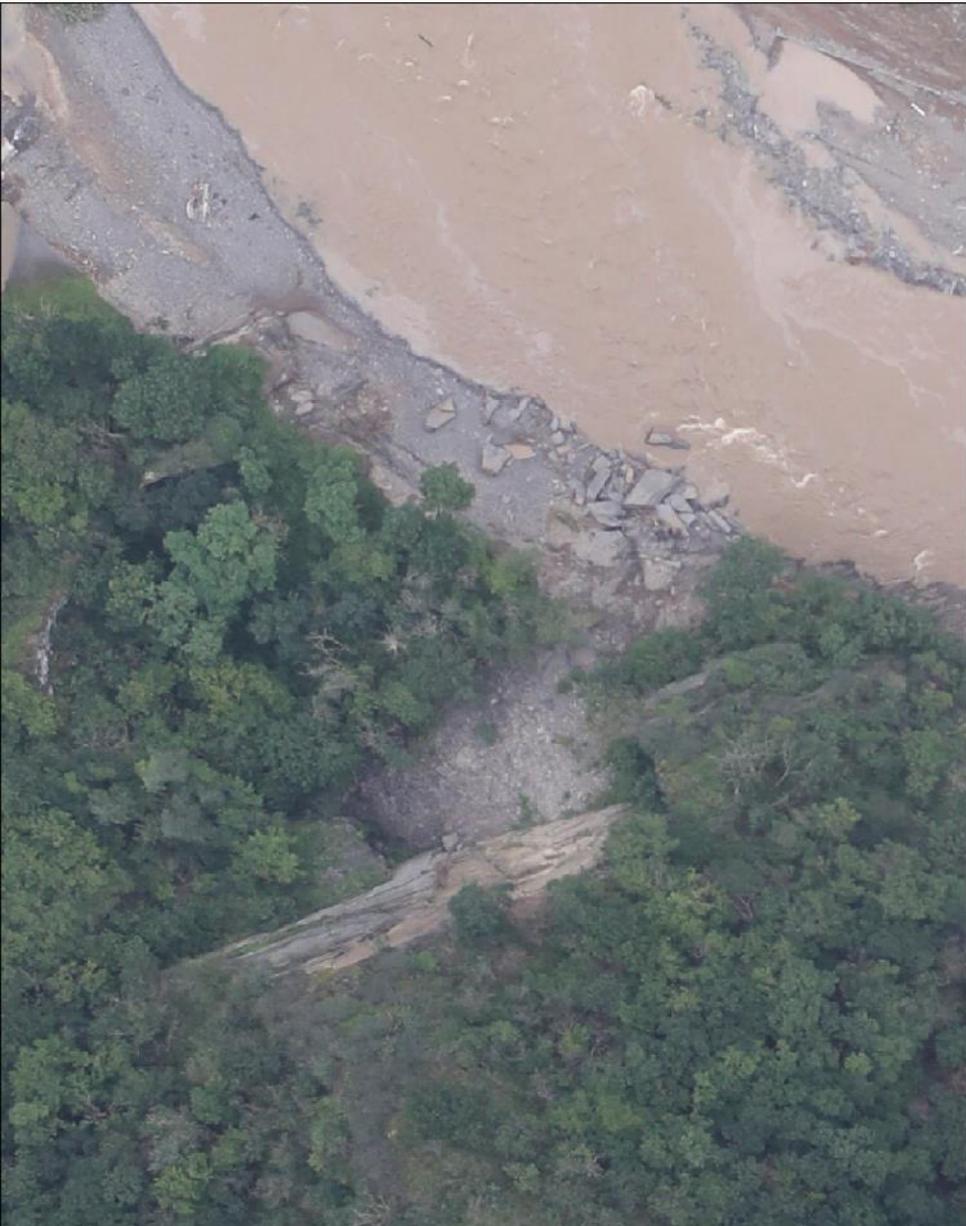


STEINSCHLAG / FELSSTURZ



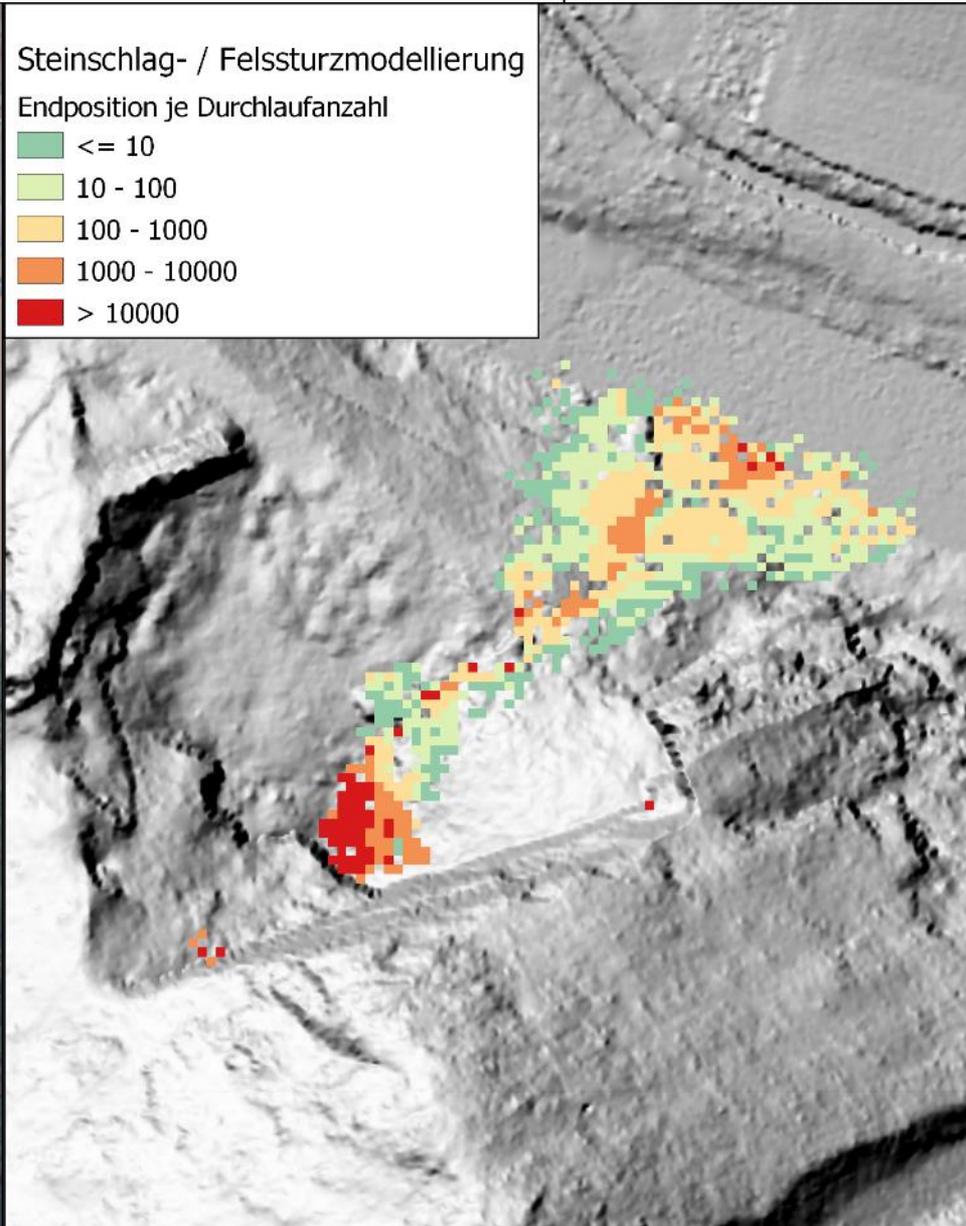
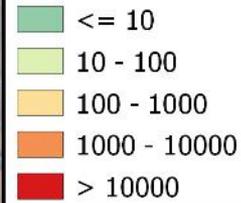
Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



Steinschlag- / Felssturzmmodellierung

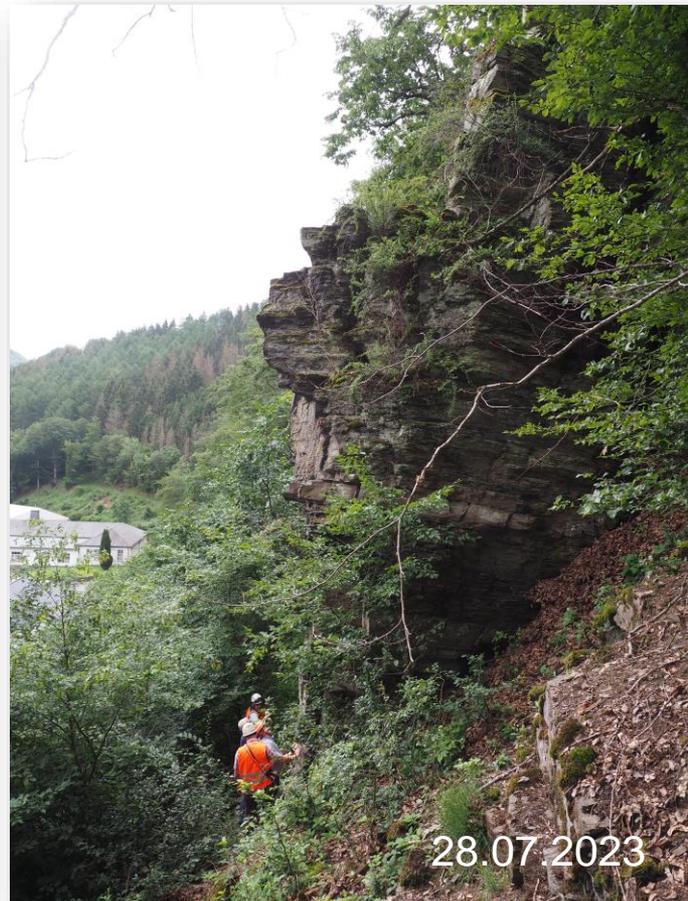
Endposition je Durchlaufanzahl





FANGZAUN

Felssturzgefahr in Ahrbrück



AKTUELL ZU LÖSENDE PROBLEME



Rheinland-Pfalz

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE
UND BERGBAU



GEO
WISSEN
SCHAFTEN



- Anfälligkeitsbereiche modelliert, wo aber keinerlei Massenbewegungen stattgefunden haben: Ursachen (noch) nicht sichtbar, aber umgekehrt fast alle MBs auf Anfälligkeitsbereichen!
- Exakte räumliche Identifizierung der MB „Startbereiche“ (Auslösezellen)
- Räumliche Variation ingenieurgeologischer Eingangsparameter





ZUSAMMENFASSUNG

- GIS-basierte Modellierung und Zusammenführung aller Daten absolut notwendig zur Erreichung der Gesamtziele
 - Erste Modell-Ergebnisse in der Pilotregion identifizieren die **Anfälligkeitsbereiche für Massenbewegungen**
 - Potential der MBs in Ausbreitung/Reichweite und Energien lassen sich ableiten, darauf aufbauend **Planung von Sicherungs- und Vorsorgemaßnahmen** möglich
- **Weiterbearbeitung in der Hauptphase des Projektes**



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

In der Mittagspause (12:45-14 Uhr) ...

steht ein Computer mit Entwicklungs-GIS-System mit Daten und Ergebnissen zur Ansicht und Diskussion bereit

