



**IFWW-Förderpreis 2019**

**Kurzvorstellung der Masterarbeit**

**Geostatistische Optimierung des bestehenden Grundwassermessnetzes des Wasserwerks Wiesbaden-Schierstein für das quantitative Monitoring nach Neugestaltung der Grundwassergewinnung**

**Maurice Wagner, M. Sc. RWTH**

• 52. ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft • Aachen, 20.03.2019 •

# 1) Einleitung und Zielstellung

- Die langfristige Sicherung der öffentlichen Wasserversorgung und die nachhaltige Nutzung der Grundwasservorkommen erfordern ein umfassendes Grundwassermonitoring durch den Anlagenbetreiber (vgl. DVGW 2003, GROSSMANN 2003)
- Bestehende Grundwassermessnetze sind anlassbezogen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zu überprüfen (vgl. TOUSSAINT 2004: 681)

**→ Quantitatives Monitoring im Untersuchungsgebiet WI-Schierstein gibt Anlass zur Überprüfung**

# 1) Einleitung und Zielstellung

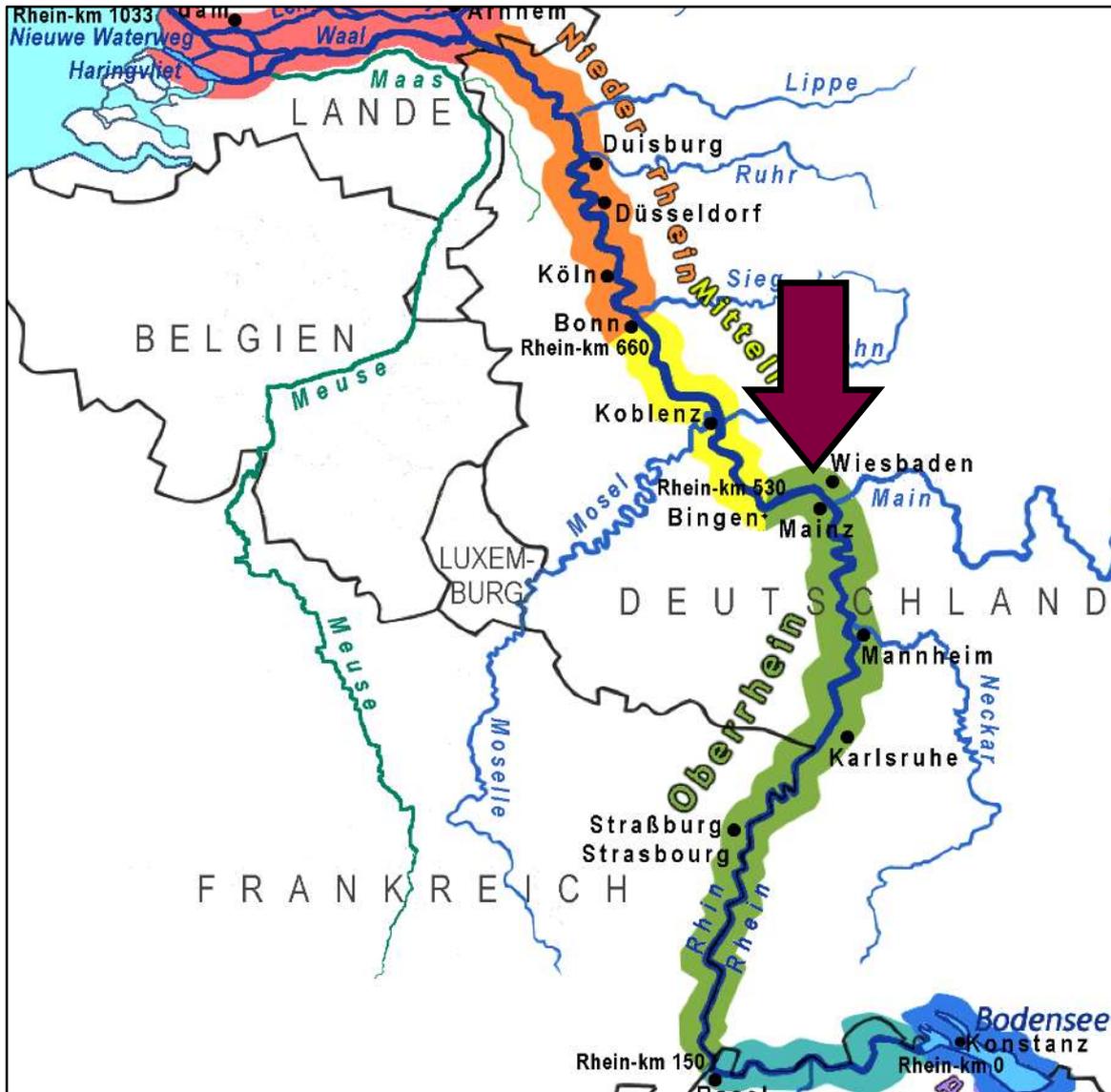


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Wiesbaden-Schierstein  
(WIKIPEDIA 2018; verändert)

# 1) Einleitung und Zielstellung

## Hydrogeologie

Quartäre Flusssedimente bilden den geringmächtigen aber ergiebigen Porengrundwasserleiter

## Wasserwirtschaftliche Nutzung

Infiltrationsgestützte Förderleistung von 10.000 m<sup>3</sup>/d  
(deckt ca. 30 % des Trinkwasserbedarfs der Stadt Wiesbaden)

## Monitoring (Stichtag: 31.10.2015)

177 Grundwassermessstellen (GWM) und 4 Pegelmessstellen

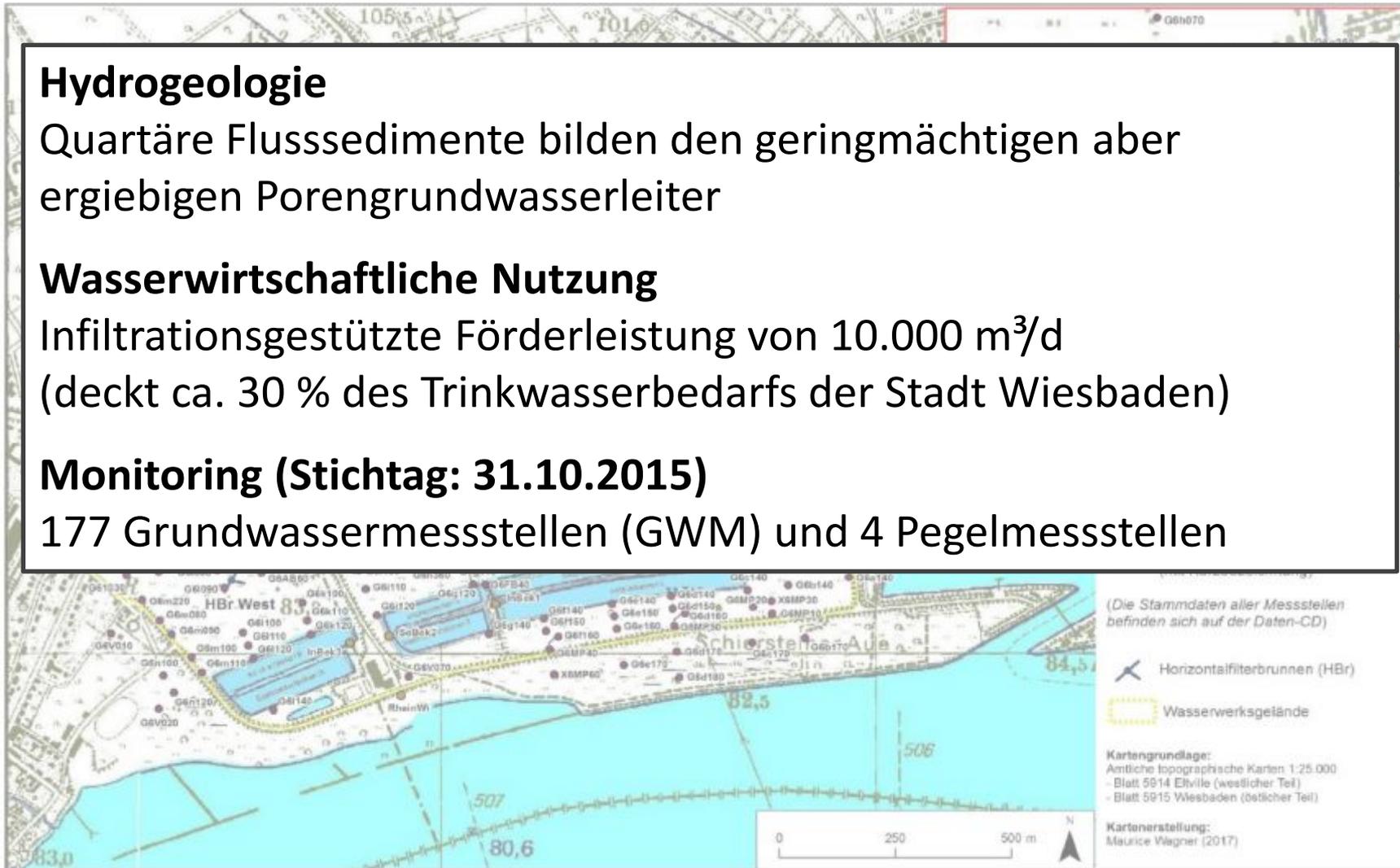


Abb. 2: Untersuchungsgebiet Wiesbaden-Schierstein  
(WAGNER 2017)

# 1) Einleitung und Zielstellung

Überprüfungsbedarf des Grundwassermessnetzes wegen veränderter hydraulischer Verhältnisse nach der Neugestaltung der Grundwassergewinnung



Optimierung der Konfiguration des Grundwassermessnetzes Schierstein für das quantitative Monitoring

- Welche GWM sind erhaltungswürdig?
- Welche GWM sind ggf. auszusondern?
- An welchen Standorten sind ggf. neue GWM zu errichten?



Abb. 3: Grundwasserdifferenzen 02.02.2015 zu 29.09.2012  
(POHL 2015; verändert)

# 2) Geostatistische Modellerstellung

## Mathematische Grundlagen

Der Mittelwert der Kriging-Schätzung ( $z_0^*$ ), kurz **Schätzwert** genannt, ergibt sich durch Linearkombination der gewichteten Messwerte:

$$z_0^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot z(\mathbf{x}_i)$$

Die Streuung der Kriging-Schätzung stellt den **Schätzfehler** dar. In dieser Arbeit wird der **Standardschätzfehler (SSF)** als Quadratwurzel aus der Schätzvarianz ( $\sigma_K^2$ ) herangezogen (**messwertunabhängig!**):

$$SSF = \sqrt{\sigma_K^2} = \sqrt{Var(z_0^* - z_0)} = \sqrt{\mu + \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot \gamma(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_0)}$$

# 2) Geostatistische Modellerstellung

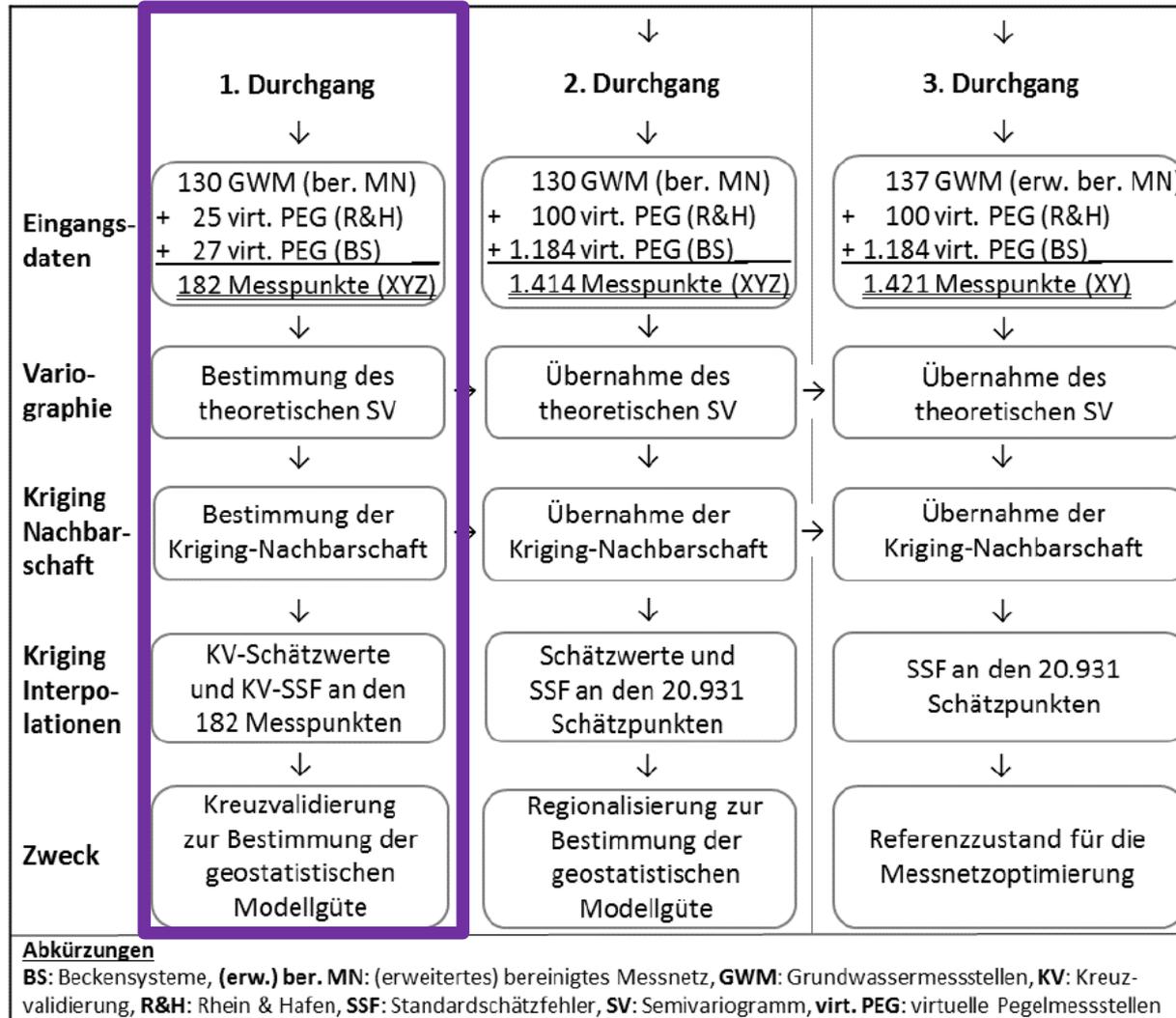


Abb. 4: Ablaufschema zur Durchführung  
(WAGNER 2017)

# 2) Geostatistische Modellerstellung

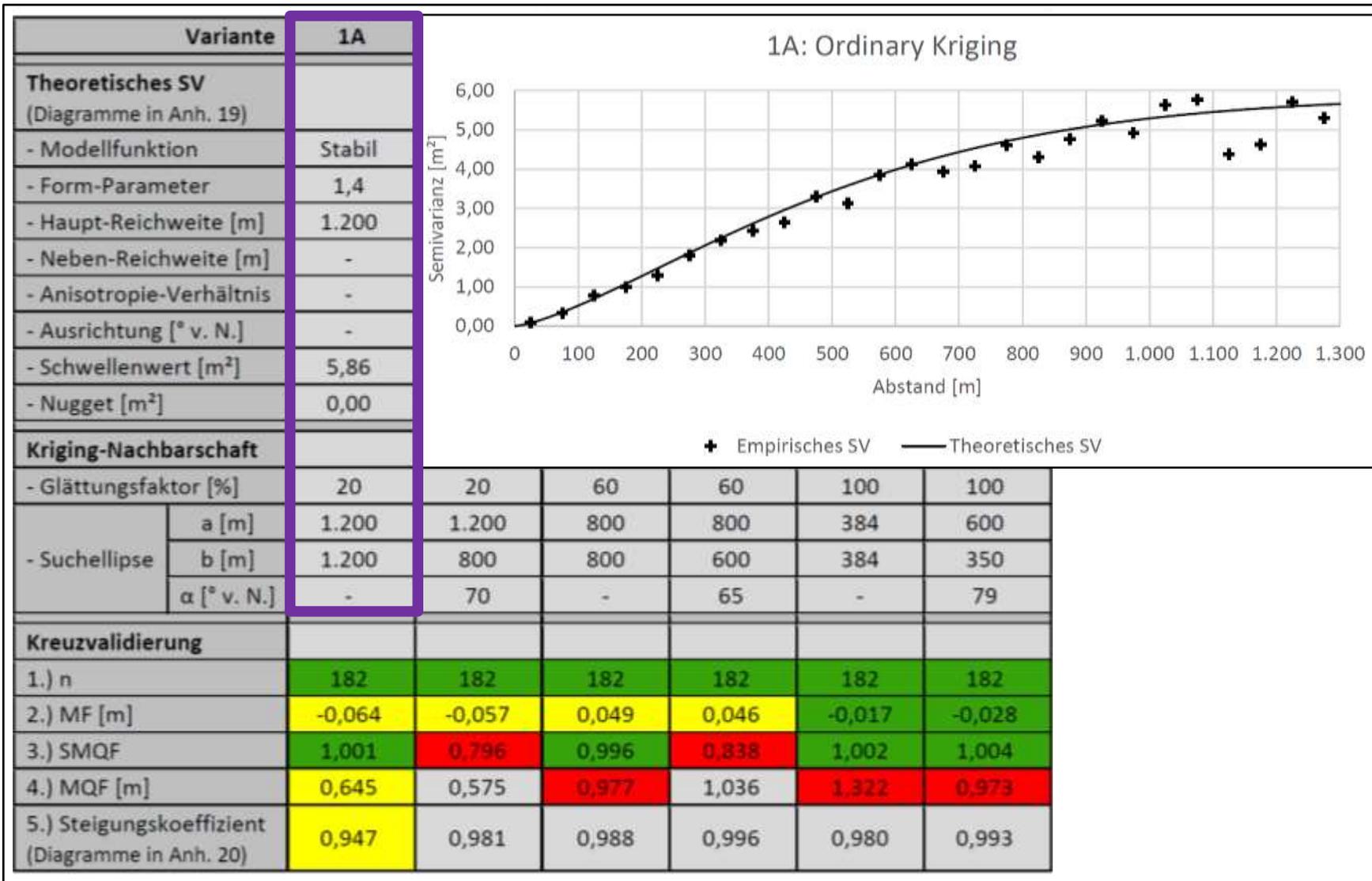


Abb. 5: Ergebnisse des 1. Durchgangs

(WAGNER 2017)

# 2) Geostatistische Modellerstellung

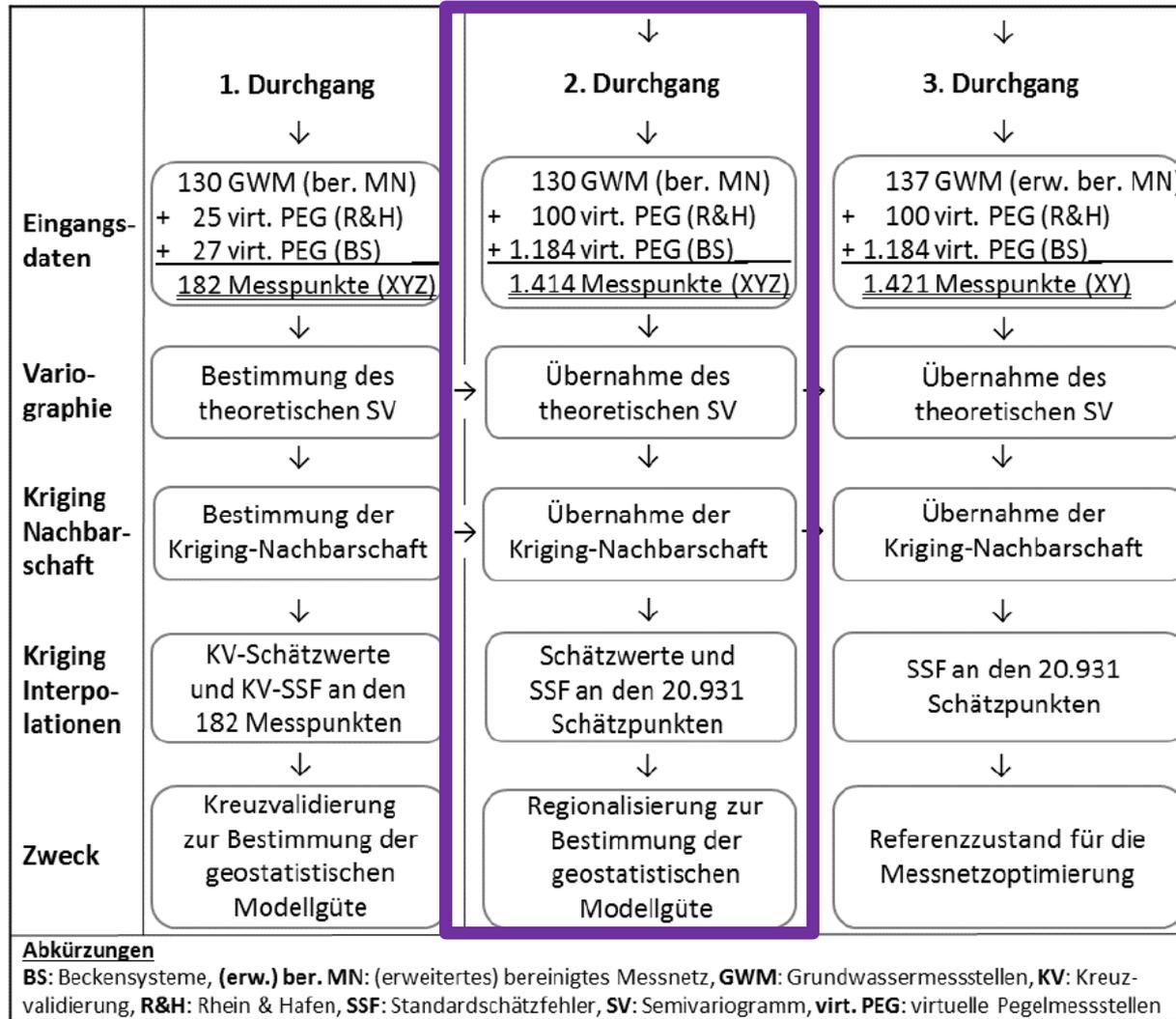


Abb. 6: Ablaufschema zur Durchführung  
(WAGNER 2017)

# 2) Geostatistische Modellerstellung

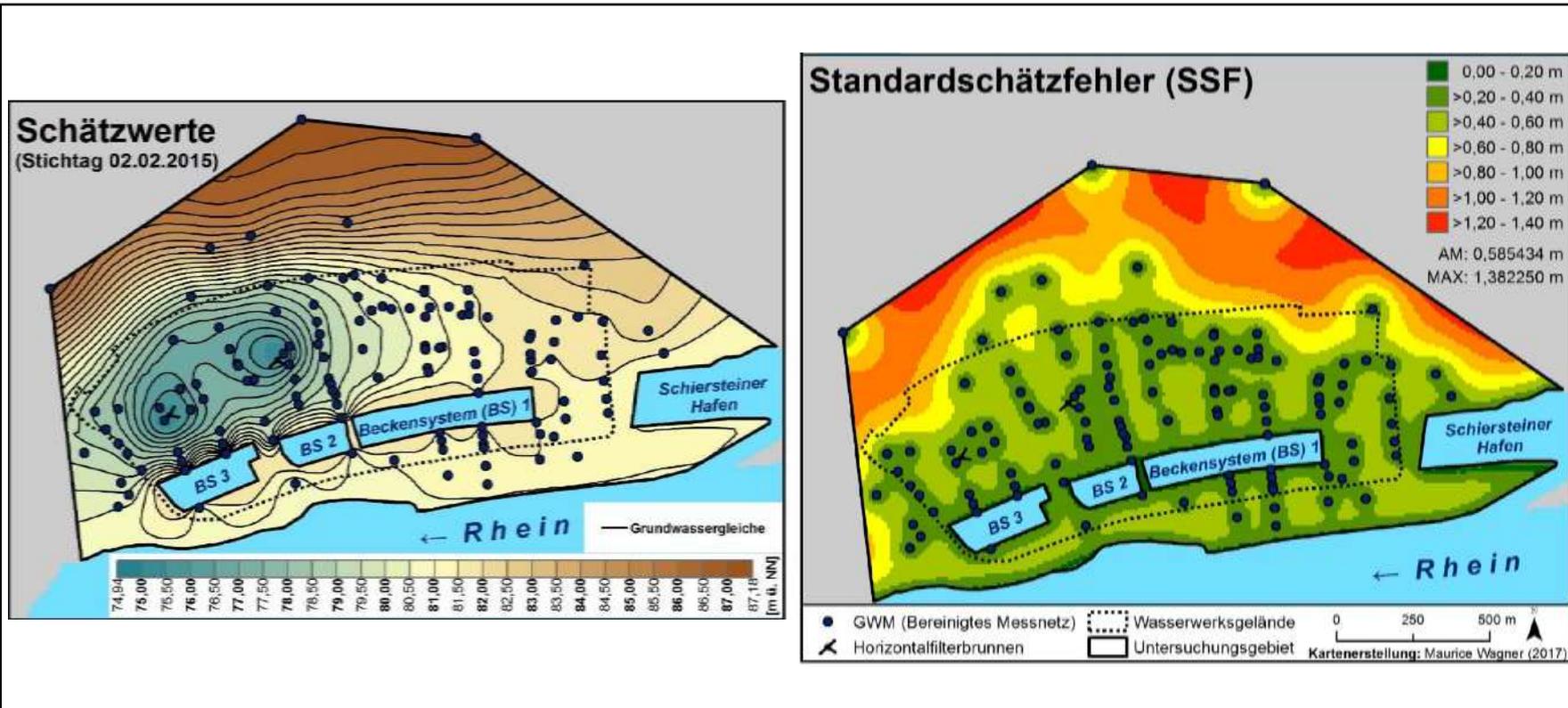


Abb. 7: Ergebnisse des 2. Durchgangs  
(WAGNER 2017)

# 2) Geostatistische Modellerstellung

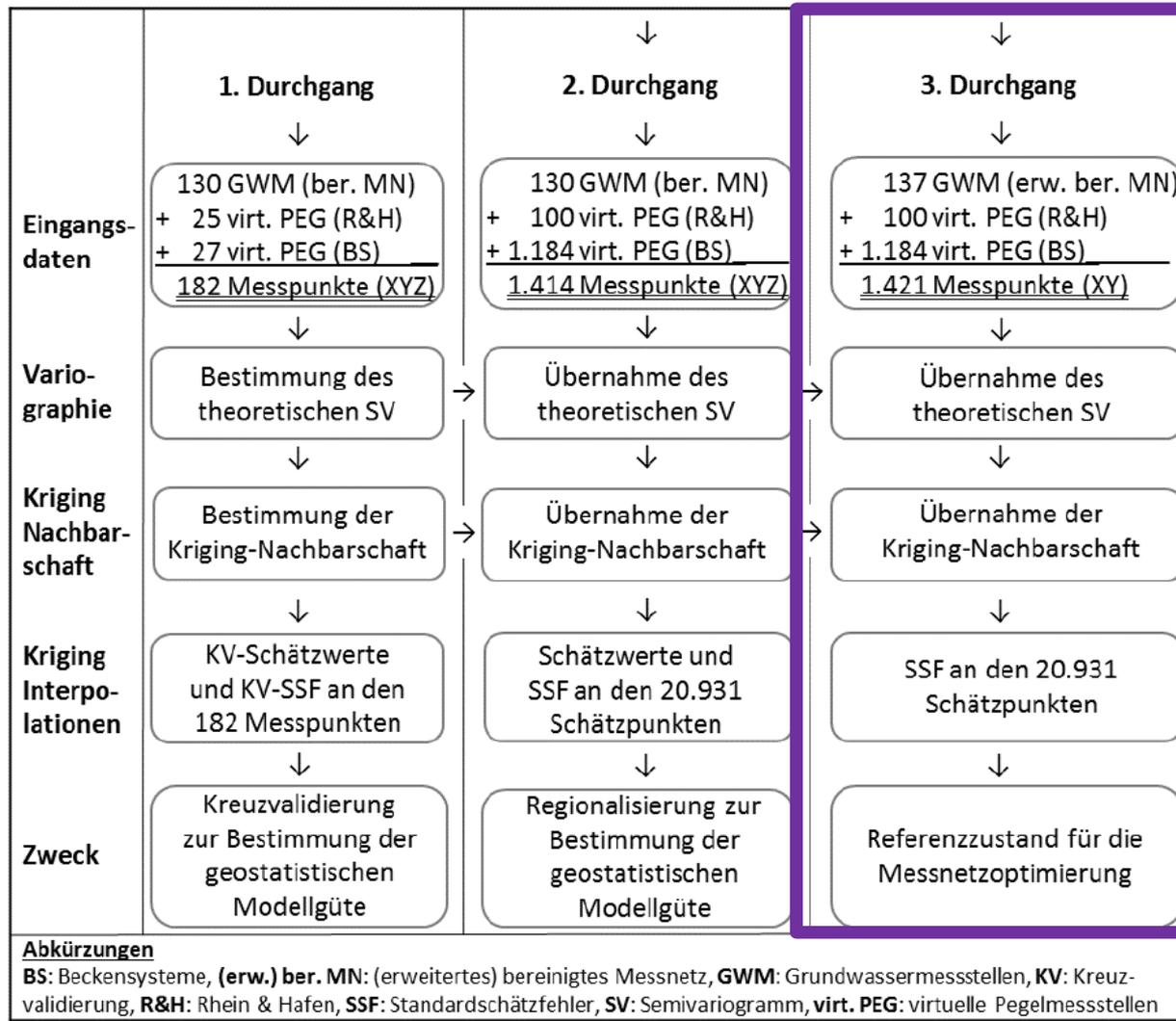


Abb. 8: Ablaufschema zur Durchführung (WAGNER 2017)

## 2) Geostatistische Modellerstellung

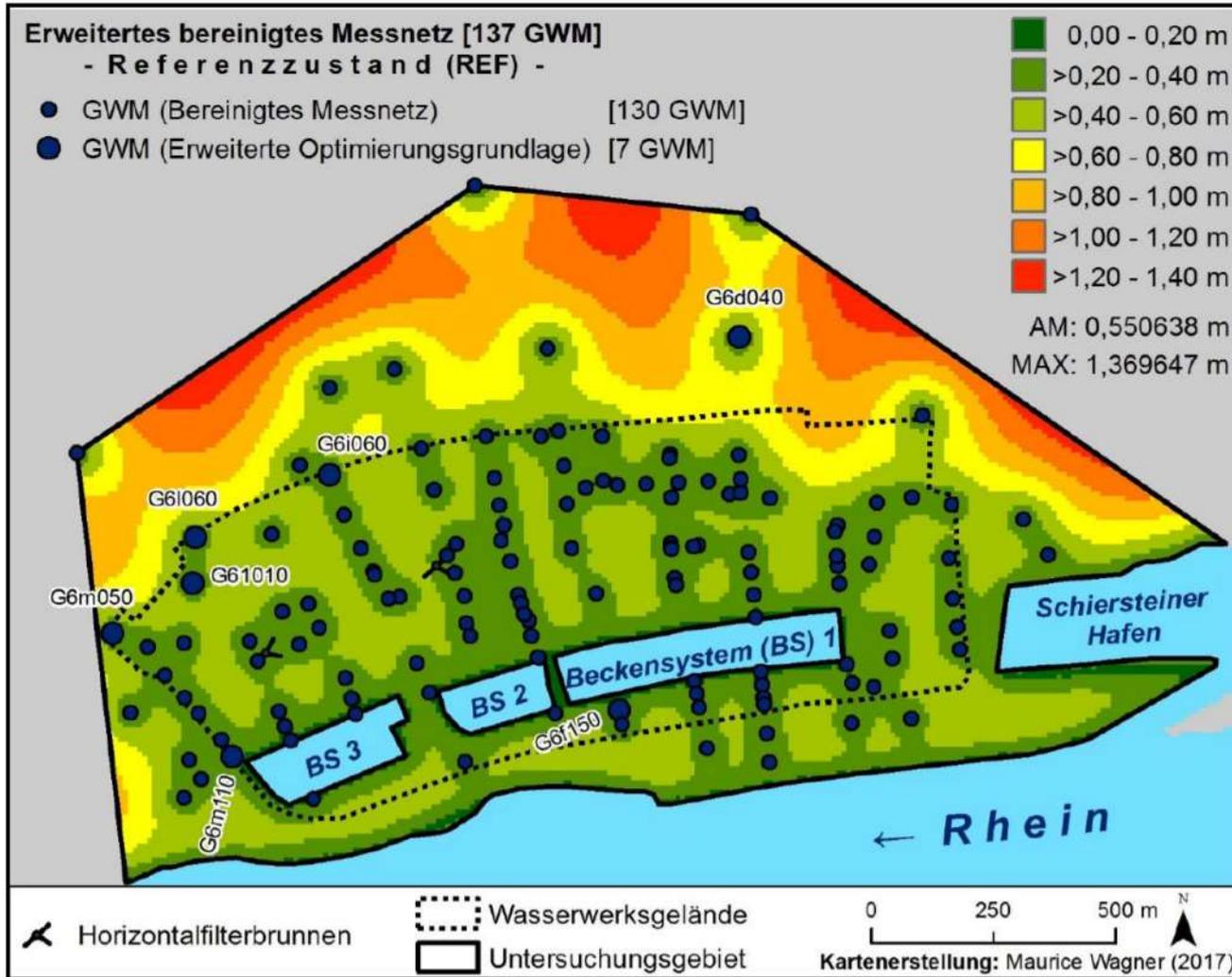


Abb. 9: Ergebnis des 3. Durchgangs (Referenzzustand 31.10.2015)  
 (WAGNER 2017)

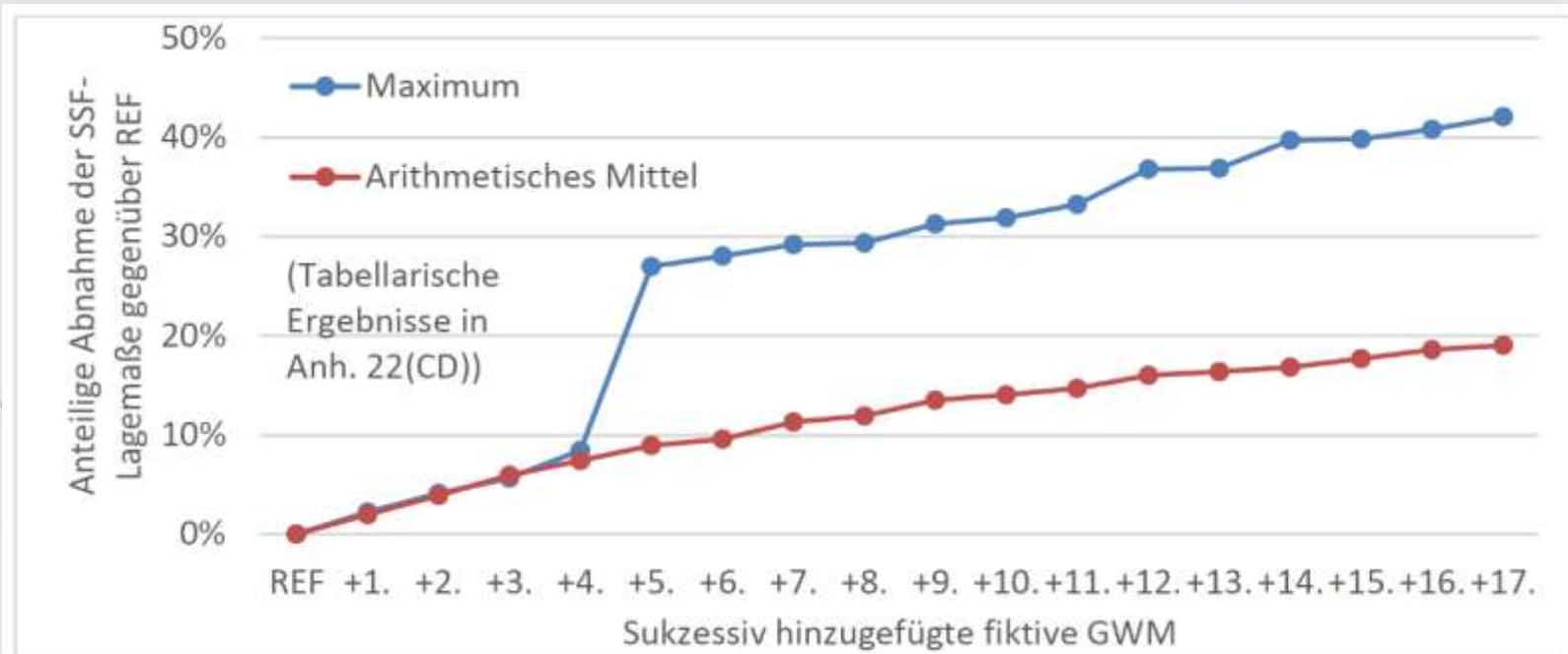
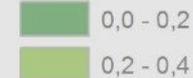


Abb. 11: Veränderung der Lagemaße der Standardschätzfehler (SSF) gegenüber dem Referenzzustand (REF) bei der sukzessiven virtuellen Messnetzverdichtung nach fiktiver Punktmethode (WAGNER 2017)

Abb. 10: Ergebnizraster der virtuellen Messnetzverdichtung nach fiktiver Punktmethode (WAGNER 2017)

# 3a) Virtuelle Messnetzverdichtung

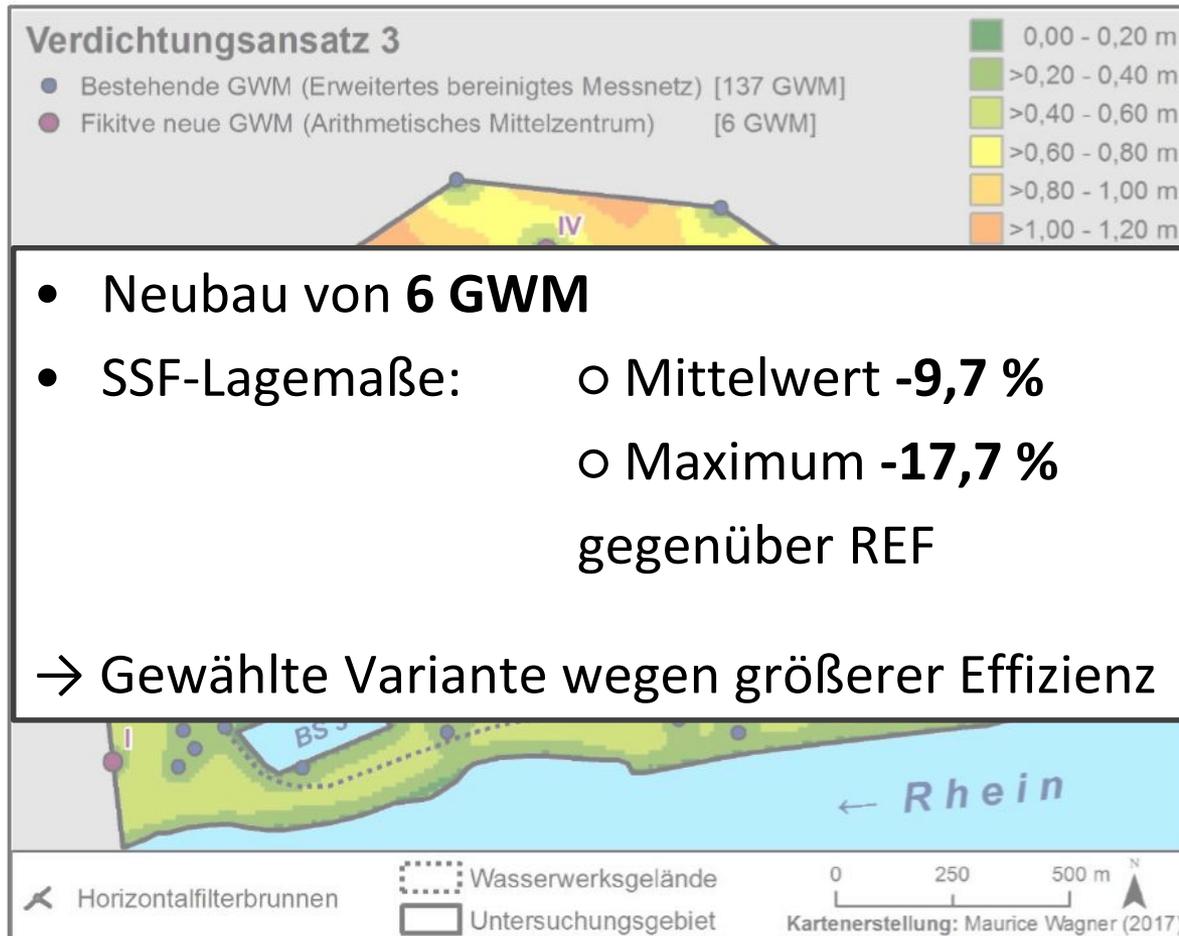


Abb. 13: Ergebnistraster nach Reduktion fiktiver Grundwassermessstellen durch clusterbasierten arithmetischen Mittelzentren-Ansatz (WAGNER 2017)

## 3b) Virtuelle Messnetzausdünnung

**Bestandsschutz** für 27 der 137 GWM, auf die mindestens eines der folgenden Kriterien zutrifft:

- Verwendung als Qualitäts-GWM
- Verwendung als Leit-GWM für die Grundwasserbewirtschaftung
- Baujahr 2009 oder jünger

→ Grundgesamtheit zur Auswahl redundanter GWM: **110 GWM**

### **Kombination zweier Ausdünnungsansätze**

- I. Sukzessive schätzfehlergestützte Redundanz-Ermittlung
- II. Messwertgestützte Redundanz-Ermittlung

# 3b) Virtuelle Messnetzausdünnung

## 1.) Sukzessive schätzfehlergestützte Redundanz-Ermittlung

1. Testweise sukzessive Entfernung jeweils einer GWM zur Erfassung des jeweiligen mittleren SSF
2. Endgültige fiktive Entfernung der GWM, die den kleinsten Anstieg des mittleren SSF verursacht
3. Wiederholung des 1. und 2. Schritts mit den verbleibenden GWM

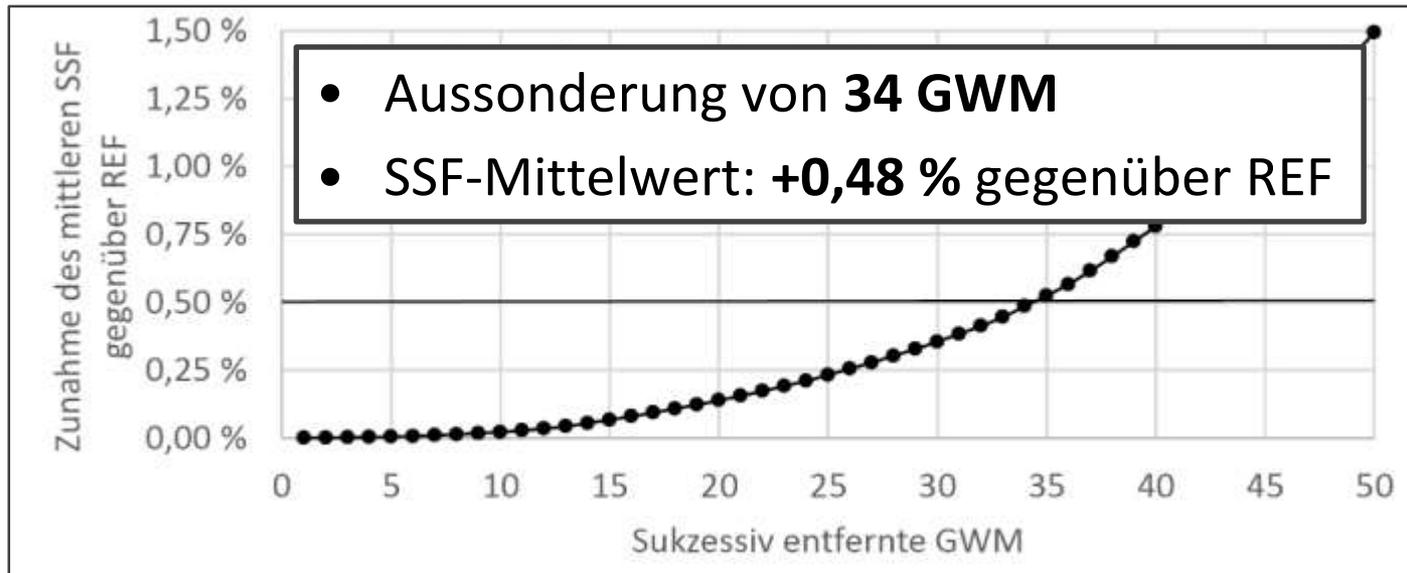
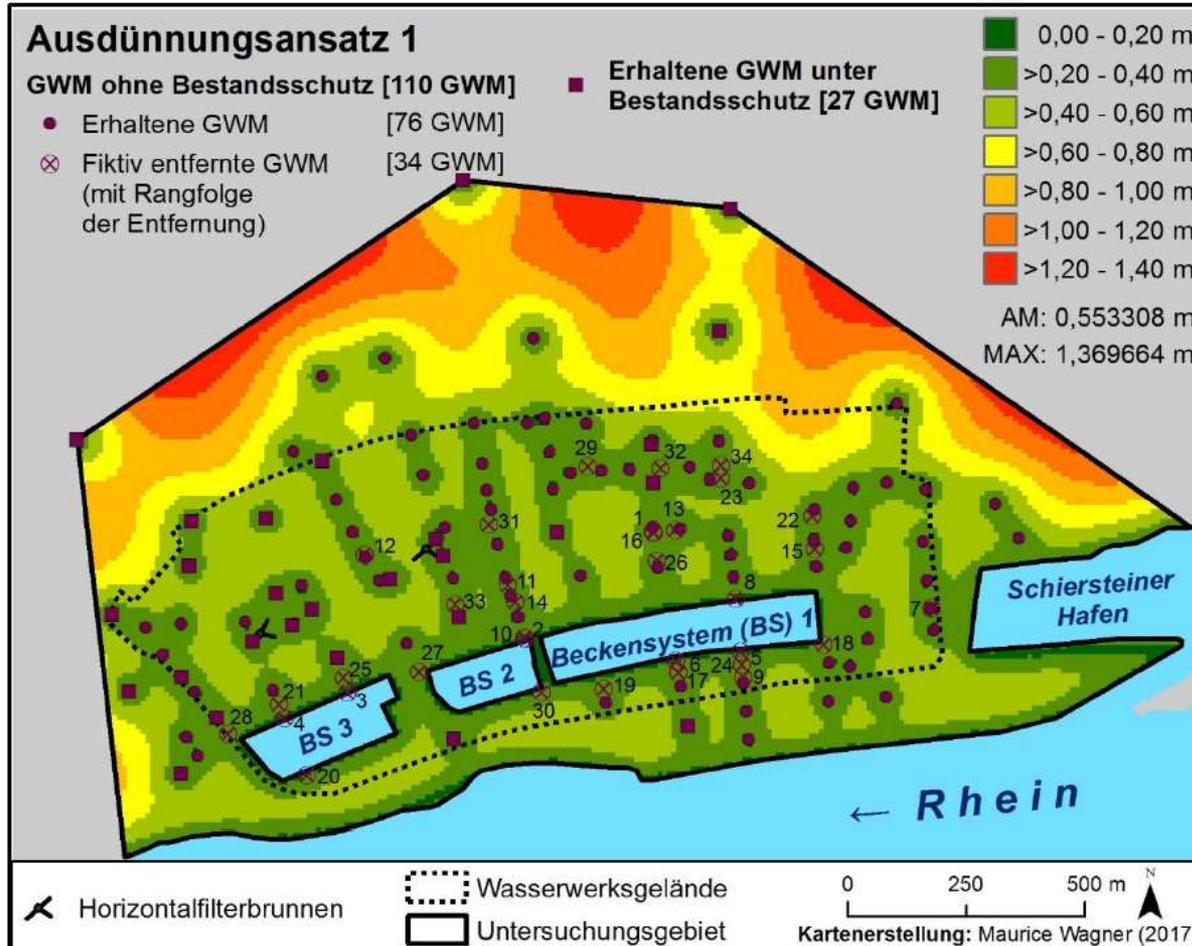


Abb. 14: Veränderung des mittleren Standardschätzfehlers (SSF) gegenüber dem Referenzzustand (REF) bei der sukzessiven virtuellen Messnetzausdünnung (WAGNER 2017)

# 3b) Virtuelle Messnetzausdünnung



34 GWM-  
Redundanz-  
kandidaten

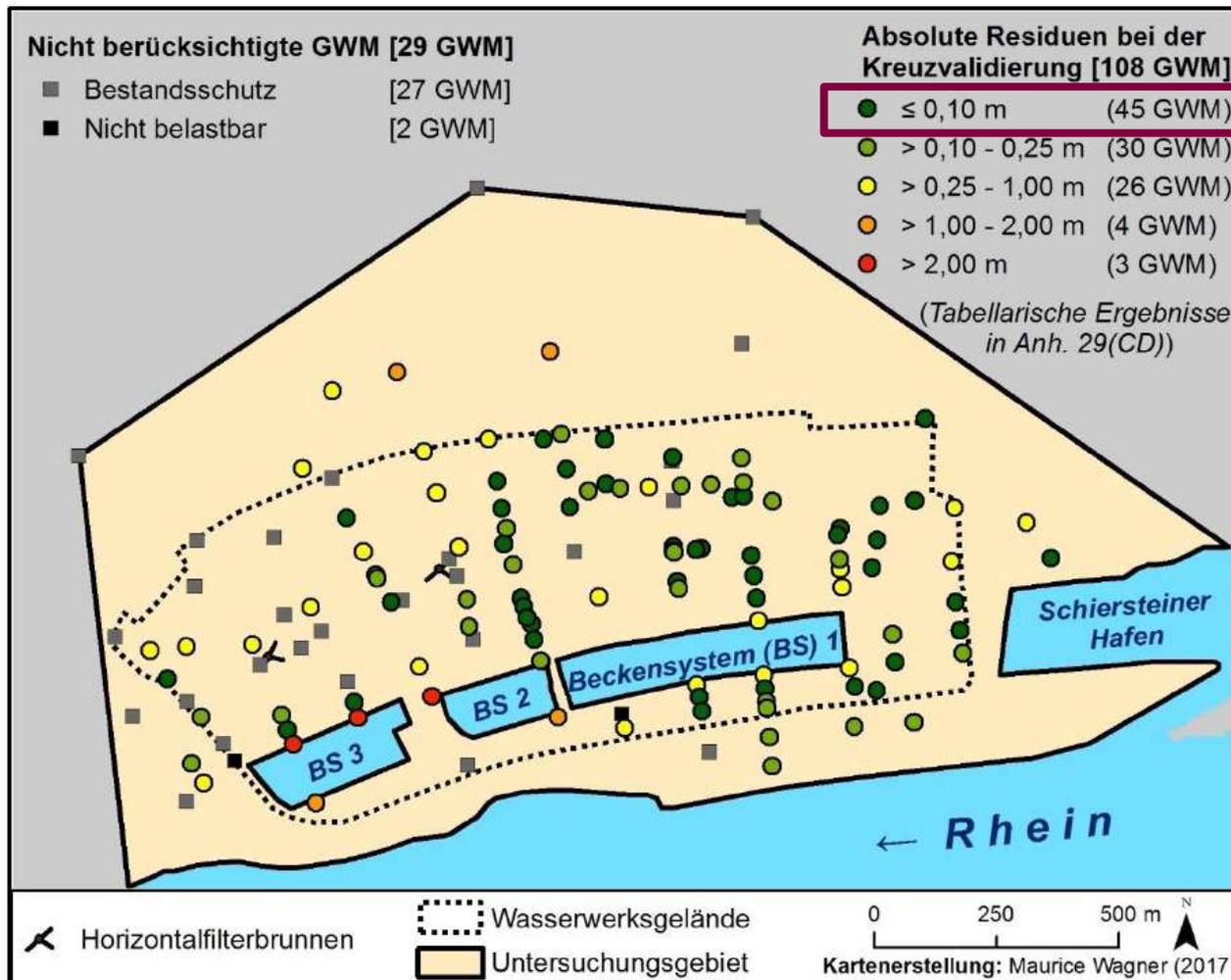
Abb. 15: Ergebnistraster nach sukzessiver schätzfehlergestützter Redundanz-Ermittlung (WAGNER 2017)

## 3b) Virtuelle Messnetzausdünnung

### II.) Messwertgestützte Redundanz-Ermittlung

1. Für jede Lokalität eines Originalmesswerts ( $z_i$ ) wird sukzessiv ein Schätzwert ( $z_i^*$ ) auf Grundlage der verbleibenden Messwerte räumlich interpolieren
2. Der Betrag der jeweiligen Differenz  $|z_i - z_i^*|$  wird als absolutes Residuum zur Beurteilung der Erhaltungswürdigkeit der einzelnen GWM herangezogen
3. Je kleiner das absolute Residuum, desto geringer ist die Erhaltungswürdigkeit der GWM, da der Messwert präzise durch die umliegenden GWM geschätzt werden kann

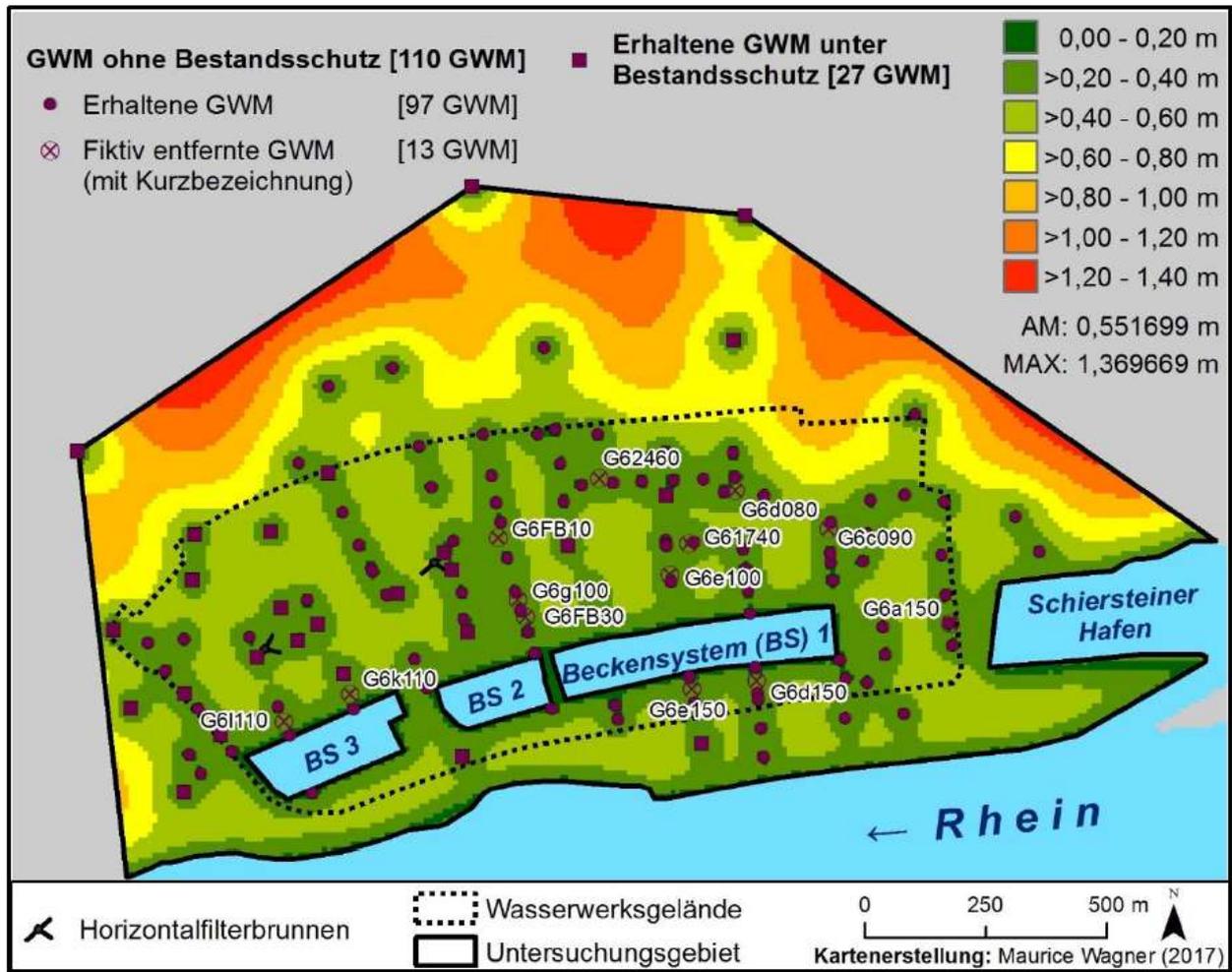
# 3b) Virtuelle Messnetzausdünnung



45 GWM-Redundanzkandidaten

Abb. 16: Ergebnistraster nach messwertgestützter Redundanz-Ermittlung (WAGNER 2017)

# 3b) Virtuelle Messnetzaudünnung



→ 13 redundante GWM aus Kombination beider Ausdünnungsansätze

Abb. 17: Ergebnisraster nach Zusammenführung der Ausdünnungsansätze (WAGNER 2017)

# 3c) Virtuelle Messnetzoptimierung

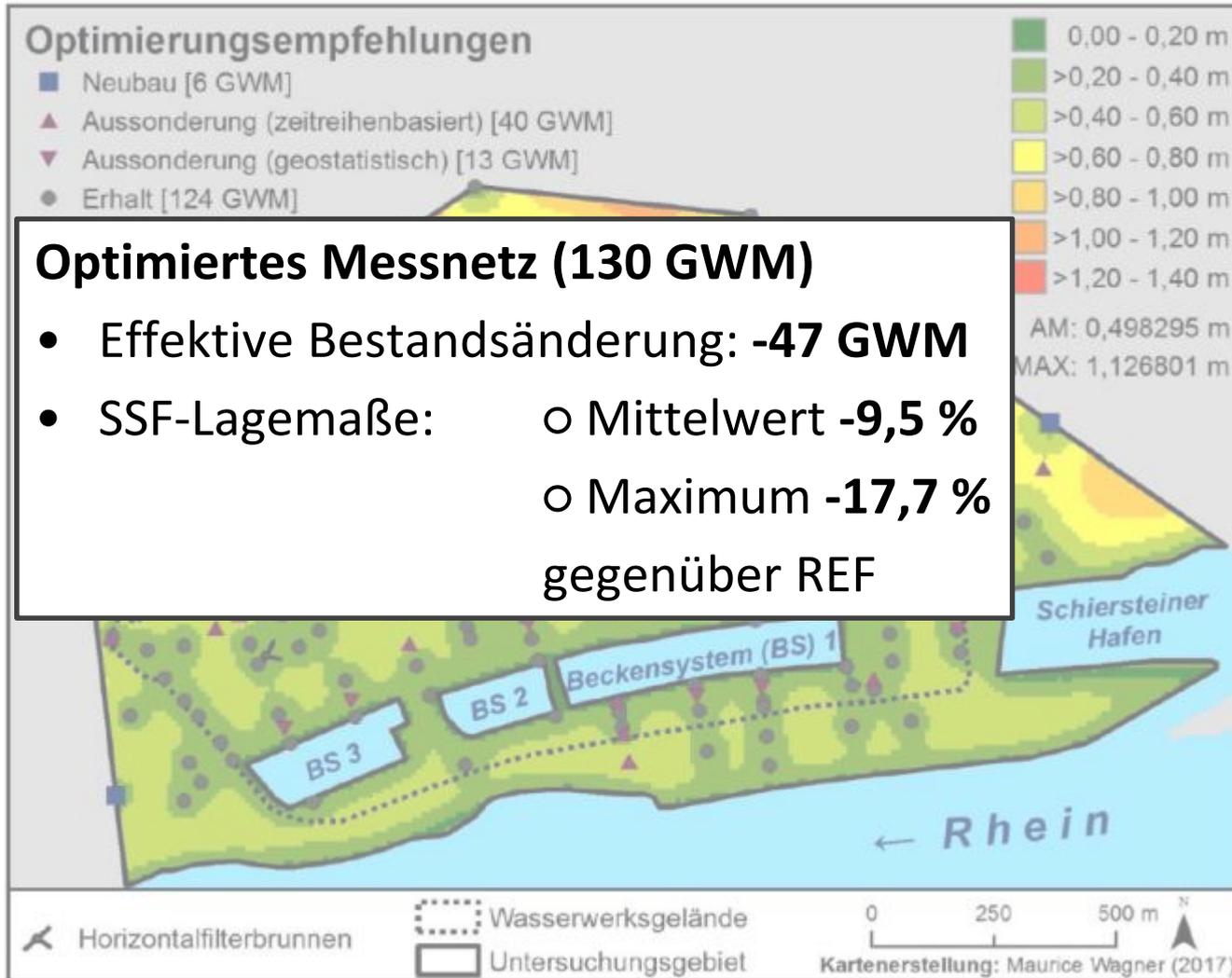


Abb. 18: Zusammenführung zum gesamtoptimierten Messnetz (WAGNER 2017)

## 4) Schlussfolgerungen

### Geostatistische Optimierungen von Grundwassermessnetzen

... benötigen als Eingangsdaten lediglich Grundwasserstände aus den turnusmäßigen Stichtagsmessungen

... sollte eine Zustandsanalyse der GWM vorgeschaltet werden, um eine zuverlässige Optimierungsgrundlage zu gewährleisten

... können auch in komplex gegliederten Grundwassergewinnungsgebieten mit Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen erfolgreich angewandt werden

... verfügen mit dem mittleren Standardschätzfehler über eine globale Maßzahl zur systematisierten Messnetzoptimierung hinsichtlich Erhalt, Neubau und Aussonderung von GWM

... können beliebige virtuelle Messnetzkonfigurationen simulieren bevor kostspielige Änderungen am Messnetz vorgenommen werden

... machen bei dichten Grundwassermessnetzen von Wasserversorgern effektive Einsparpotenziale im Unterhalt und Messbetrieb bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung wahrscheinlich

# Literatur und Quellen

- DELHOMME, J. P. (1978): Kriging in the hydrosiences. *Advances in Water Resources* 1 (5): 251-266.
- DVGW [= DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E. V.] [Hrsg.] (2003): Messnetze zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit in Wassergewinnungsgebieten. Arbeitsblatt W 108 (Dezember 2003). Bonn.
- GROSSMANN, J. (2003): Konzeption von Messnetzen zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit: Vorstellung des neuen DVGW-Arbeitsblattes W 108. *GWF Wasser Abwasser* 144 (13): 93-97.
- POHL, S. (2015): Grundwasserdifferenzenplan. Hessenwasser. Unveröffentlicht.
- TOUSSAINT, B. (2004): Überwachung von Grundwasserleitern: Grundwassermonitoring. In: LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R. [Hrsg.]. *Hydrogeologische Methoden*: 667-777. Berlin (Springer).
- WAGNER, M. (2017): Geostatistische Optimierung des bestehenden Grundwassermessnetzes des Wasserwerks Wiesbaden-Schierstein für das quantitative Monitoring nach Neugestaltung der Grundwassergewinnung. Masterarbeit an der RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- WIKIPEDIA (2018): Abschnitte des Rheinlaufs. Internet: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/29/Rhein-Karte2.png/800px-Rhein-Karte2.png> (17.11.2018).

---

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

---

***Absolvent: Maurice Wagner***

Masterstudiengang Angewandte Geographie an der RWTH Aachen

E-Mail: [maurice.jocelyn.wagner@rwth-aachen.de](mailto:maurice.jocelyn.wagner@rwth-aachen.de)

---

*Erstgutachter: Prof. Dr. Frank Lehmkuhl*

*Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie*

*Zweitgutachter: apl. Prof. Dr. Wolfgang Römer*

*Lehr- und Forschungsgebiet Physische Geographie und Klimatologie*

*Externer Betreuer: Dipl.-Geol. Steffen Pohl*

*Leiter Quantitätsmonitoring, Hessenwasser GmbH & Co. KG*

---