

Abschlussbericht

zum Projekt

Natürliche Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens



2., erweiterte Fassung

(Folgeprojekt)

Auftraggeber	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Ansprechpartner: Tobias Gaul)
Projektleitung	Alena Ullmann, Hannsjörg Schuster (Geologischer Dienst NRW)
Projektbearbeitung	Matern Brenner (Geologischer Dienst NRW)
Datum	30. November 2025

Projektnehmer:	Geologischer Dienst NRW – Landesbetrieb –
Projektleitung:	Alena Ullmann, Hannsjörg Schuster
Projektbearbeitung:	Matern Brenner
GIS-basierte Kartenerstellung:	Markus Stüber-Delhey
GIS-basierte Programmierung / Berechnungen:	Eugenia Gref
Access-Programmierung:	Dietmar Vangenhassend
Lektorat:	Sophie Hoeren

I Inhaltsverzeichnis

II Abbildungsverzeichnis..... IX

III Tabellenverzeichnis XX

IV Abkürzungsverzeichnis XXIV

Teil A – Grundlagen, Methodisches

1 Veranlassung und Zielsetzung..... 2

2 Einleitung 4

3 Definition Hintergrundkonzentration 8

4 Stoffpalette 11

 4.1 Beurteilungswerte 12

 4.2 Stoffkulisse..... 13

 4.3 Verhalten von Metallen in der Umwelt 15

5 Datenbasis..... 18

 5.1 Gütedaten..... 19

 5.1.1 Oberflächengewässer 19

 5.1.2 Quellen 22

 5.1.3 Grundwasser..... 24

 5.2 Datenaufbereitung und Zusammenführung 24

 5.3 Darstellung der Datenverteilung 27

6 Bewertungseinheiten 30

7 Zusatzbeprobung 33

8 Methodik 35

 8.1 Wahrscheinlichkeitsnetze (Auswerteverfahren) 36

 8.2 Präselektion 40

 8.2.1 Besiedlungsanteil..... 42

 8.2.2 Kanalmessstellen 42

 8.2.3 Beschaffenheitskriterien 43

 8.2.4 Umweltqualitätsnorm 44

 8.2.5 Abwasseranteil/MQ-Kriterium 44

 8.2.6 DPSIR (Driving forces · Pressure · State · Impact · Response)..... 45

9 Randdaten (Plausibilisierung) 48

 9.1 Grundwasser 49

 9.2 Boden..... 49

 9.3 Gestein..... 50

9.4 Erzlagerstätten..... 51

9.5 Bergbau 52

9.6 Abwasser..... 52

9.7 Deponien und Altlasten 53

9.8 Abgrabungen 53

9.9 Atmosphärische Depositionen 54

9.10 Landnutzung 55

10 Grundlagen der Auswertung 57

11 Berechnung der Hintergrundwerte für die Fließwasserkörper 64

Teil B – Auswertung und Ergebnisse

12 Einführung..... 67

13 Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd 69

13.1 Gebietsbeschreibung 69

13.2 Bewertungseinheiten..... 75

13.3 Ergebnisse..... 77

14 Kyll 88

14.1 Gebietsbeschreibung 88

14.2 Bewertungseinheiten..... 91

14.3 Ergebnisse..... 91

15 Ahr 97

15.1 Gebietsbeschreibung 97

15.2 Bewertungseinheiten..... 100

15.3 Ergebnisse..... 101

16 Erft 107

16.1 Gebietsbeschreibung 107

16.2 Bewertungseinheiten..... 112

16.3 Ergebnisse..... 114

17 Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord 123

17.1 Gebietsbeschreibung 123

17.2 Bewertungseinheiten..... 128

17.3 Ergebnisse..... 129

18 Rheingraben-Nord 139

18.1 Gebietsbeschreibung 139

18.2 Bewertungseinheiten..... 146

18.3 Ergebnisse..... 148

19 Sonstige Deltarheinzuflüsse 158

 19.1 Gebietsbeschreibung 158

 19.2 Bewertungseinheiten..... 160

 19.3 Ergebnisse..... 161

20 Ijsselmeerzuflüsse..... 168

 20.1 Gebietsbeschreibung 168

 20.2 Bewertungseinheiten..... 171

 20.3 Ergebnisse..... 172

21 Lippe 183

 21.1 Gebietsbeschreibung 183

 21.2 Bewertungseinheiten..... 187

 21.3 Ergebnisse..... 188

22 Emscher..... 199

 22.1 Gebietsbeschreibung 199

 22.2 Bewertungseinheiten..... 201

 22.3 Ergebnisse..... 202

23 Ruhr 210

 23.1 Gebietsbeschreibung 210

 23.2 Bewertungseinheiten..... 214

 23.3 Ergebnisse..... 216

24 Wupper..... 227

 24.1 Gebietsbeschreibung 227

 24.2 Bewertungseinheiten..... 230

 24.3 Ergebnisse..... 231

25 Sieg 239

 25.1 Gebietsbeschreibung 239

 25.2 Bewertungseinheiten..... 243

 25.3 Ergebnisse..... 244

26 Lahn 254

 26.1 Gebietsbeschreibung 254

 26.2 Bewertungseinheiten..... 257

 26.3 Ergebnisse..... 258

27 Eder 264

 27.1 Gebietsbeschreibung 264

 27.2 Bewertungseinheiten..... 267

 27.3 Ergebnisse..... 268

28 Diemel	274
28.1 Gebietsbeschreibung	274
28.2 Bewertungseinheiten.....	277
28.3 Ergebnisse.....	279
29 Weser und Hunte	288
29.1 Gebietsbeschreibung	288
29.2 Bewertungseinheiten.....	292
29.3 Ergebnisse.....	295
30 Obere Ems und Hase	304
30.1 Gebietsbeschreibung	304
30.2 Bewertungseinheiten.....	308
30.3 Ergebnisse.....	310
 Teil C – Zusammenfassung	
31 Hintergrundwerte der Fließwasserkörper	321
32 Zusammenfassung	333
33 Fazit und Ausblick	336
34 Literaturverzeichnis	339
 Teil D – Anhang	
35 Anhang	357
35.1 Übersichtskarten Stoffkulisse	357
35.2 Parameterliste	367
35.3 Validierung der Bewertungseinheiten.....	368
35.4 Zusatzbeprobung – Liste der neu angelegten Messstellen	371
35.5 Methoden(-auswahl)	376
35.6 Beschaffenheitskriterien	390
35.7 Wahl des Eingangswertes – Mittelwert vs. Einzelmessung (neueste Analyse)	411
35.8 Box-Whisker-Plots.....	431
35.9 Gelöste Konzentrationen – Erstprojekt	453
35.10 Hintergrundwerte der Fließwasserkörper	468
35.10.1 Gesamtgehalte	469
35.10.2 Gelöste Konzentrationen.....	546

II Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Zeitplan Erstprojekt (2016 – 2019).....	5
Abb. 2-2:	Zeitplan Folgeprojekt (2024 – 2025)	7
Abb. 4-1:	Darstellung der parameterspezifischen Anzahl an FWK mit Überschreitung der UQN / des OW in der Schwebstoffphase (3. Zyklus 2012 – 2014)	13
Abb. 4-2:	Darstellung der parameterspezifischen Anzahl an FWK mit Überschreitung der UQN / des OW in der Wasserphase (3. Zyklus 2012 – 2014)	14
Abb. 4-3:	Darstellung der parameterspezifischen Anzahl an FWK mit neu hinzugekommenen Überschreitungen der UQN / des OW in der Wasserphase (5. Zyklus 2019 – 2021).....	14
Abb. 4-4:	Schematische Darstellung natürlicher Eintragspfade in die Gewässer	15
Abb. 4-5:	Stoffeintragspfade in Oberflächengewässer.....	16
Abb. 4-6:	Gegenüberstellung des gelösten und partikulär gebundenen Anteils (im Mittel) ausgewählter Metalle am Gesamtgehalt – basierend auf vorliegenden Projektdaten aus der Gewässerüberwachung.....	17
Abb. 5-1:	Überblick über mögliche methodische Ansätze.....	18
Abb. 5-2:	Vereinfachte Darstellung der Bearbeitungsschritte bei der Datenaufbereitung und Homogenisierung	25
Abb. 5-3:	Übersichtskarte der GÜS-Messstellen für Nordrhein-Westfalen.....	27
Abb. 5-4:	Übersichtskarte der zusätzlich akquirierten Gewässermessstellen.....	28
Abb. 5-5:	Übersichtskarte der Messpunkte des alten und des neuen Geochemischen Atlas für Nordrhein-Westfalen	28
Abb. 5-6:	Übersichtskarte über Quellen in Nordrhein-Westfalen	29
Abb. 6-1:	Schematischer Verschnitt der Teileinzugsgebiete mit Hydrogeochemischen Einheiten zu Bewertungseinheiten	31
Abb. 6-2:	Übersichtskarte über die Bewertungseinheiten – farblich differenziert nach zugehörigem System und mit Angabe der BE-Anzahl.....	32
Abb. 7-1:	Übersicht über die zusätzlichen Beprobungspunkte	34
Abb. 8-1:	Vom Histogramm über die Summenkurve zum Wahrscheinlichkeitsnetz.....	36
Abb. 8-2:	Beispiel – Verteilung von Chloridgehalten im Grundwasserkörper 01R13b (Mitteldeutsche Urstrom- und Nebentäler).....	37
Abb. 8-3:	Schematische Darstellung der Präselektionsstufen	42
Abb. 8-4:	Schematische Darstellung der verwendeten Präselektionskriterien	47
Abb. 9-1:	Faktoren, die im Einzugsgebiet eines Fließgewässers Einfluss auf dessen stoffliche Zusammensetzung nehmen	48

Abb. 10-1: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte 57

Abb. 10-2: Ergebnisausgabe des Wahrscheinlichkeitsnetzes für den Parameter Zink im Keuper der TEZG Diemel und Weser(Süd) 60

Abb. 10-3: Erste Datenausgabe im Wahrscheinlichkeitsnetz für den Parameter Blei in der BE Sieg(West)_08P11 (paläozoische Schiefer und Sandsteine) – Darstellung zweier Populationen 61

Abb. 10-4: Ergebnisausgabe des Wahrscheinlichkeitsnetzes für den Parameter Blei in der BE Sieg(West)_08P11b (paläozoische Schiefer und Sandsteine) nach Ausschluss anthropogen überprägter Messstellen sowie Differenzierung der BE entsprechend der Teilpopulationen 61

Abb. 11-1: Beispielhafte Darstellung eines FWK in einer BE 65

Abb. 11-2: Beispielhafte Darstellung eines FWK, der sich über zwei BE erstreckt 65

Abb. 13-1: TEZG Rur und MSS..... 70

Abb. 13-2: Geologie und Lagerstätten der TEZG Rur und MSS..... 72

Abb. 13-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Rur und MSS 75

Abb. 13-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE der TEZG Rur und MSS 82

Abb. 13-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE der TEZG Rur und MSS 83

Abb. 13-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE der TEZG Rur und MSS 84

Abb. 13-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE der TEZG Rur und MSS 85

Abb. 13-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE der TEZG Rur und MSS 86

Abb. 13-9: HGW_{ges} für Zink in den BE der TEZG Rur und MSS 87

Abb. 14-1: TEZG Kyll..... 88

Abb. 14-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Kyll..... 90

Abb. 14-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Kyll 91

Abb. 14-4: HGW_{ges} für Arsen und Barium in den BE des TEZG Kyll 93

Abb. 14-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Kyll..... 94

Abb. 14-6: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE des TEZG Kyll 95

Abb. 14-7: HGW_{ges} für Sulfat, Uran und Zink in den BE des TEZG Kyll 96

Abb. 15-1: TEZG Ahr..... 97

Abb. 15-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Ahr 99

Abb. 15-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Ahr 101

Abb. 15-4: HGW_{ges} für Arsen, Barium, Cadmium und Kobalt in den BE des TEZG Ahr 103

Abb. 15-5: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Mangan und Molybdän in den BE des TEZG Ahr 104

Abb. 15-6: HGW_{ges} für Nickel, Blei, Sulfat und Uran in den BE des TEZG Ahr 105

Abb. 15-7: HGW_{ges} für Zink in den BE des TEZG Ahr 106

Abb. 16-1: TEZG Erft..... 108

Abb. 16-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Erft 110

Abb. 16-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Erft 113

Abb. 16-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Erft 118

Abb. 16-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE des TEZG Erft 119

Abb. 16-6: HGW_{ges} für Eisen, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Erft 120

Abb. 16-7: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE des TEZG Erft 121

Abb. 16-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Erft 122

Abb. 17-1: TEZG Niers, Schwalm und MSN 124

Abb. 17-2: Geologie und Lagerstätten der TEZG Niers, Schwalm und MSN 126

Abb. 17-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Niers, Schwalm und MSN 128

Abb. 17-4: HGW_{ges} für Arsen, Bor, Barium und Beryllium in den BE der TEZG Niers, Schwalm
und MSN..... 134

Abb. 17-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE der TEZG Niers, Schwalm
und MSN..... 135

Abb. 17-6: HGW_{ges} für Eisen, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE der TEZG Niers, Schwalm
und MSN..... 136

Abb. 17-7: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE der TEZG Niers, Schwalm und MSN. 137

Abb. 17-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE der TEZG Niers, Schwalm und MSN 138

Abb. 18-1: TEZG Rheingraben-Nord..... 140

Abb. 18-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Rheingraben-Nord..... 143

Abb. 18-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Rheingraben-Nord 147

Abb. 18-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG RGN..... 152

Abb. 18-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG RGN 153

Abb. 18-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE des TEZG RGN..... 154

Abb. 18-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE des TEZG RGN 155

Abb. 18-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE des TEZG RGN..... 156

Abb. 18-9: HGW_{ges} für Zink in den BE des TEZG RGN..... 157

Abb. 19-1: TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse 158

Abb. 19-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse..... 159

Abb. 19-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse 160

Abb. 19-4: HGW_{ges} für Arsen und Bor in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse 162

Abb. 19-5: HGW_{ges} für Barium, Beryllium, Cadmium und Kobalt in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse..... 163

Abb. 19-6: HGW_{ges} für Chrom, Kupfer, Eisen und Quecksilber in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse 164

Abb. 19-7: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse..... 165

Abb. 19-8: HGW_{ges} für Selen, Sulfat, Thallium und Uran in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse..... 166

Abb. 19-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse..... 167

Abb. 20-1: TEZG Ijsselmeerzuflüsse 168

Abb. 20-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Ijsselmeerzuflüsse 169

Abb. 20-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Ijsselmeerzuflüsse..... 171

Abb. 20-4: HGW_{ges} für Silber und Arsen in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse..... 177

Abb. 20-5: HGW_{ges} für Bor, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse.. 178

Abb. 20-6: HGW_{ges} für Kobalt, Chrom, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse 179

Abb. 20-7: HGW_{ges} für Quecksilber, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse 180

Abb. 20-8: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse 181

Abb. 20-9: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse 182

Abb. 21-1: TEZG Lippe..... 183

Abb. 21-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Lippe 185

Abb. 21-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Lippe 187

Abb. 21-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Lippe 193

Abb. 21-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Lippe..... 194

Abb. 21-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE des TEZG Lippe 195

Abb. 21-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE des TEZG Lippe 196

Abb. 21-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE des TEZG Lippe 197

Abb. 21-9: HGW_{ges} für Zink in den BE des TEZG Lippe 198

Abb. 22-1: TEZG Emscher..... 199

Abb. 22-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Emscher 200

Abb. 22-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Emscher 201

Abb. 22-4: HGW_{ges} für Arsen, Bor, Barium und Beryllium in den BE des TEZG Emscher 205

Abb. 22-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE des TEZG Emscher 206

Abb. 22-6: HGW_{ges} für Eisen, Quecksilber, Mangan und Molybdän in den BE des TEZG Emscher 207

Abb. 22-7: HGW_{ges} für Nickel, Blei, Selen und Sulfat in den BE des TEZG Emscher 208

Abb. 22-8: HGW_{ges} für Thallium, Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Emscher 209

Abb. 23-1: TEZG Ruhr 210

Abb. 23-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Ruhr 212

Abb. 23-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Ruhr 215

Abb. 23-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Ruhr 221

Abb. 23-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Ruhr 222

Abb. 23-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE des TEZG Ruhr 223

Abb. 23-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE des TEZG Ruhr 224

Abb. 23-8: HGW_{ges} für Sulfat, Titan, Thallium und Uran in den BE des TEZG Ruhr 225

Abb. 23-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE des TEZG Ruhr 226

Abb. 24-1: TEZG Wupper 227

Abb. 24-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Wupper 228

Abb. 24-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Wupper 230

Abb. 24-4: HGW_{ges} für Arsen und Bor in den BE des TEZG Wupper 234

Abb. 24-5: HGW_{ges} für Barium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Wupper 235

Abb. 24-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Mangan und Molybdän in den BE des TEZG Wupper 236

Abb. 24-7: HGW_{ges} für Nickel, Blei, Sulfat und Titan in den BE des TEZG Wupper 237

Abb. 24-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Wupper 238

Abb. 25-1: TEZG Sieg 239

Abb. 25-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Sieg 241

Abb. 25-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Sieg 243

Abb. 25-4: HGW_{ges} für Silber und Arsen in den BE des TEZG Sieg 248

Abb. 25-5: HGW_{ges} für Bor, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Sieg 249

Abb. 25-6: HGW_{ges} für Kobalt, Chrom, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Sieg 250

Abb. 25-7: HGW_{ges} für Quecksilber, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Sieg 251

Abb. 25-8: HGW_{ges} für Blei, Sulfat, Titan und Uran in den BE des TEZG Sieg 252

Abb. 25-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE des TEZG Sieg 253

Abb. 26-1: TEZG Lahn 254

Abb. 26-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Lahn 256

Abb. 26-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Lahn 257

Abb. 26-4: HGW_{ges} für Arsen, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Lahn 260

Abb. 26-5: HGW_{ges} für Kobalt, Chrom, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Lahn 261

Abb. 26-6: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE des TEZG Lahn 262

Abb. 26-7: HGW_{ges} für Sulfat, Uran und Zink in den BE des TEZG Lahn 263

Abb. 27-1: TEZG Eder 264

Abb. 27-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Eder 265

Abb. 27-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Eder 267

Abb. 27-4: HGW_{ges} für Arsen, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Eder 270

Abb. 27-5: HGW_{ges} für Kobalt, Kupfer, Eisen und Mangan in den BE des TEZG Eder 271

Abb. 27-6: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Sulfat in den BE des TEZG Eder 272

Abb. 27-7: HGW_{ges} für Titan, Uran und Zink in den BE des TEZG Eder 273

Abb. 28-1: TEZG Diemel 274

Abb. 28-2: Geologie und Lagerstätten des TEZG Diemel 275

Abb. 28-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Diemel 277

Abb. 28-4: HGW_{ges} für Arsen, Bor, Barium und Beryllium in den BE des TEZG Diemel 283

Abb. 28-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE des TEZG Diemel 284

Abb. 28-6: HGW_{ges} für Eisen, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Diemel 285

Abb. 28-7: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE des TEZG Diemel 286

Abb. 28-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Diemel 287

Abb. 29-1: TEZG Weser und Hunte 288

Abb. 29-2: Geologie und Lagerstätten der TEZG Weser und Hunte 290

Abb. 29-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Weser und Hunte 293

Abb. 29-4: HGW_{ges} für Arsen und Bor in den BE der TEZG Weser und Hunte 298

Abb. 29-5: HGW_{ges} für Barium, Beryllium, Cadmium und Kobalt in den BE der TEZG Weser
und Hunte 299

Abb. 29-6: HGW_{ges} für Chrom, Kupfer, Eisen und Quecksilber in den BE der TEZG Weser und Hunte.. 300

Abb. 29-7: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE der TEZG Weser und Hunte 301

Abb. 29-8: HGW_{ges} für Selen, Sulfat, Thallium und Uran in den BE der TEZG Weser und Hunte 302

Abb. 29-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE der TEZG Weser und Hunte 303

Abb. 30-1: TEZG Obere Ems und Hase 304

Abb. 30-2: Geologie und Lagerstätten in den TEZG Obere Ems und Hase 306

Abb. 30-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Obere Ems und Hase 308

Abb. 30-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE der TEZG Obere Ems und Hase 314

Abb. 30-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE der TEZG Obere Ems und Hase.....315

Abb. 30-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE der TEZG Obere Ems und Hase..... 316

Abb. 30-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE der TEZG Obere Ems und Hase 317

Abb. 30-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE der TEZG Obere Ems und Hase..... 318

Abb. 30-9: HGW_{ges} für Zink in den BE der TEZG Obere Ems und Hase 319

Abb. 31-1: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Silber in den FWK 321

Abb. 31-2: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Arsen in den FWK 322

Abb. 31-3: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Bor in den FWK..... 322

Abb. 31-4: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Barium in den FWK..... 323

Abb. 31-5: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Beryllium in den FWK 323

Abb. 31-6: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Cadmium in den FWK 324

Abb. 31-7: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Kobalt in den FWK 324

Abb. 31-8: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Chrom in den FWK 325

Abb. 31-9: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Kupfer in den FWK 325

Abb. 31-10: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Eisen in den FWK 326

Abb. 31-11: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Quecksilber in den FWK 326

Abb. 31-12: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Mangan in den FWK 327

Abb. 31-13: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Molybdän in den FWK 327

Abb. 31-14: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Nickel in den FWK 328

Abb. 31-15: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Blei in den FWK 328

Abb. 31-16: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Selen in den FWK 329

Abb. 31-17: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Sulfat in den FWK 329

Abb. 31-18: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Titan in den FWK 330

Abb. 31-19: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Thallium in den FWK 330

Abb. 31-20: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Uran in den FWK 331

Abb. 31-21: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Vanadium in den FWK 331

Abb. 31-22: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Zink in den FWK..... 332

Anhang

Abb. 35-1: Stoffkulisse Arsen – FWK mit Überschreitung des OW für Arsen357

Abb. 35-2: Stoffkulisse Chrom – FWK mit Überschreitung des OW für Chrom358

Abb. 35-3: Stoffkulisse Kupfer – FWK mit Überschreitung des OW für Kupfer358

Abb. 35-4: Stoffkulisse Selen – FWK mit Überschreitung der UQN für Selen359

Abb. 35-5: Stoffkulisse Silber – FWK mit Überschreitung der UQN für Silber359

Abb. 35-6: Stoffkulisse Thallium – FWK mit Überschreitung der UQN für Thallium360

Abb. 35-7: Stoffkulisse Zink – FWK mit Überschreitung des OW für Zink360

Abb. 35-8: Stoffkulisse Eisen – FWK mit Überschreitung des OW für Eisen.....361

Abb. 35-9: Stoffkulisse Sulfat – FWK mit Überschreitung des OW für Sulfat361

Abb. 35-10: Stoffkulisse Blei – FWK mit Überschreitung der UQN für Blei362

Abb. 35-11: Stoffkulisse Cadmium – FWK mit Überschreitung der UQN für Cadmium362

Abb. 35-12: Stoffkulisse Nickel – FWK mit Überschreitung der UQN für Nickel.....363

Abb. 35-13: Stoffkulisse Quecksilber – FWK mit Überschreitung der UQN für Quecksilber363

Abb. 35-14: Stoffkulisse Barium – FWK mit Überschreitung des OW für Barium364

Abb. 35-15: Stoffkulisse Beryllium – FWK mit Überschreitung des OW für Beryllium364

Abb. 35-16: Stoffkulisse Bor – FWK mit Überschreitung des OW für Bor365

Abb. 35-17: Stoffkulisse Kobalt – FWK mit Überschreitung des OW für Kobalt365

Abb. 35-18: Stoffkulisse Uran – FWK mit Überschreitung des OW für Uran.....366

Abb. 35-19: Stoffkulisse Vanadium – FWK mit Überschreitung des OW für Vanadium366

Abb. 35-20: Übersichtskarte von Nordrhein-Westfalen – Bewertungseinheit Rur_08P11368

Abb. 35-21: Darstellung von Calciumkonzentrationen im Wahrscheinlichkeitsnetz für die Bewertungseinheit Rur_08P11368

Abb. 35-22: Darstellung von Calciumkonzentrationen im Wahrscheinlichkeitsnetz, die über die Grenzen einer Bewertungseinheit (Rur_08P11) hinaus reichen.....369

Abb. 35-23: Darstellung von Zinkkonzentrationen (Gesamtgehalt) im Wahrscheinlichkeitsnetz für die Bewertungseinheit Rur_08P11369

Abb. 35-24: Räumliche Übersicht über das Verteilungsmuster von Zinkanalysen (Gesamtgehalt in der Wasserphase) für die Bewertungseinheit Rur_08P11, farbliche Differenzierung nach Konzentrationsbereichen370

Abb. 35-25: Schema zur Ermittlung des zahlenmäßigen, natürlichen Hintergrundwertes über die graphische Darstellung der Konzentrations-/Abflussbeziehung nach HELLMANN (1999)379

Abb. 35-26: Schematische Darstellung der Überlappung zweier Häufigkeitsverteilungen aus überwiegend geogenen und anthropogen beeinflussten Konzentrationen eines Parameters380

Abb. 35-27: Beispiel für die Darstellung der Konzentrationsverteilung eines Parameters381

Abb. 35-28: Grundprinzip der Separation der natürlichen und beeinflussten Komponente einer beobachteten Konzentrationsverteilung383

Abb. 35-29: Schematische Darstellung zur Anwendung von Beschaffenheitskriterien390

Abb. 35-30: Histogramm und kumulative Häufigkeitsverteilung für Nitrat-Stickstoff inklusive tabellarischer Übersicht der Messstellenanzahl einzelner Konzentrationsklassen391

Abb. 35-31: Histogramm und kumulative Häufigkeitsverteilung für Ammonium-Stickstoff inklusive tabellarischer Übersicht der Messstellenanzahl einzelner Konzentrationsklassen391

Abb. 35-32: Histogramm und kumulative Häufigkeitsverteilung für Ortho-Phosphat-Phosphor inklusive tabellarischer Übersicht der Messstellenanzahl einzelner Konzentrationsklassen392

Abb. 35-33: Übersichtskarte der Bewertungseinheit im Teileinzugsgebiet der Ijsselmeerzuflüsse.....396

Abb. 35-34: Ergebnisausgabe Probnat – Auswertung ohne Nitrat-Kriterium mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse; Gesamtgehalt)397

Abb. 35-35: Ergebnisausgabe Probnat – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 5 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse; Gesamtgehalt)398

Abb. 35-36: Ergebnisausgabe Probnat – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 11 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse; Gesamtgehalt)399

Abb. 35-37: Ergebnisauszug Probnat – Auswertung ohne Nitrat-Kriterium mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse; gel. Konzentration).....401

Abb. 35-38: Ergebnisauszug Probnat – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 5 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse; gel. Konzentration).....401

Abb. 35-39: Ergebnisauszug Probnat – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 11 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse; gel. Konzentration).....402

Abb. 35-40: Übersichtskarte der Bewertungseinheit im Teileinzugsgebiet der Erft403

Abb. 35-41: Ergebnisausgabe Probnat – Auswertung ohne Nitrat-Kriterium mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Erft; Gesamtgehalt)404

Abb. 35-42: Ergebnisausgabe Probnat – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 5 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Erft; Gesamtgehalt)405

Abb. 35-43: Ergebnisausgabe Probnat – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 11 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Erft; Gesamtgehalt)406

Abb. 35-44: Ergebnisauszug Probnet – Auswertung ohne Nitrat-Kriterium mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Erft; gel. Konzentration)408

Abb. 35-45: Ergebnisauszug Probnet – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 5 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Erft; gel. Konzentration)408

Abb. 35-46: Ergebnisauszug Probnet – Auswertung mit Nitrat-Kriterium ≤ 11 mg/l mit farblicher Differenzierung einzelner Geradenabschnitte (TEZG Erft; gel. Konzentration)409

Abb. 35-47: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten Gesamtgehalte, Mittelwerte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse).....413

Abb. 35-48: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten Gesamtgehalte, neueste Analyse (TEZG Ijsselmeerzuflüsse)414

Abb. 35-49: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten gel. Konzentrationen, Mittelwerte (TEZG Ijsselmeerzuflüsse)415

Abb. 35-50: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten gel. Konzentrationen, neueste Analyse (TEZG Ijsselmeerzuflüsse)416

Abb. 35-51: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten Gesamtgehalte, Mittelwerte (TEZG Erft)418

Abb. 35-52: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten Gesamtgehalte, neueste Analyse (TEZG Erft)419

Abb. 35-53: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten gel. Konzentrationen, Mittelwerte (TEZG Erft)420

Abb. 35-54: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten gel. Konzentrationen, neueste Analyse (TEZG Erft)421

Abb. 35-55: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten Gesamtgehalte, Mittelwerte (TEZG Ruhr)423

Abb. 35-56: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten Gesamtgehalte, neueste Analyse (TEZG Ruhr)424

Abb. 35-57: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten gel. Konzentrationen, Mittelwerte (TEZG Ruhr)425

Abb. 35-58: Ergebnisausgabe Probnet – Eingangsdaten gel. Konzentrationen, neueste Analyse (TEZG Ruhr)426

Abb. 35-59: Box-Whisker-Plot der Silber-HGW_{ges} in den HGC432

Abb. 35-60: Box-Whisker-Plot der Arsen-HGW_{ges} in den HGC433

Abb. 35-61: Box-Whisker-Plot der Bor-HGW_{ges} in den HGC434

Abb. 35-62: Box-Whisker-Plot der Barium-HGW_{ges} in den HGC435

Abb. 35-63: Box-Whisker-Plot der Beryllium-HGW_{ges} in den HGC436

Abb. 35-64: Box-Whisker-Plot der Cadmium-HGW_{ges} in den HGC437

Abb. 35-65: Box-Whisker-Plot der Kobalt-HGW_{ges} in den HGC438



Abb. 35-66: Box-Whisker-Plot der Chrom-HGW_{ges} in den HGC439

Abb. 35-67: Box-Whisker-Plot der Kupfer-HGW_{ges} in den HGC440

Abb. 35-68: Box-Whisker-Plot der Eisen-HGW_{ges} in den HGC441

Abb. 35-69: Box-Whisker-Plot der Quecksilber-HGW_{ges} in den HGC442

Abb. 35-70: Box-Whisker-Plot der Mangan-HGW_{ges} in den HGC443

Abb. 35-71: Box-Whisker-Plot der Molybdän-HGW_{ges} in den HGC444

Abb. 35-72: Box-Whisker-Plot der Nickel-HGW_{ges} in den HGC445

Abb. 35-73: Box-Whisker-Plot der Blei-HGW_{ges} in den HGC446

Abb. 35-74: Box-Whisker-Plot der Selen-HGW_{ges} in den HGC447

Abb. 35-75: Box-Whisker-Plot der Sulfat-HGW_{ges} in den HGC448

Abb. 35-76: Box-Whisker-Plot der Titan-HGW_{ges} in den HGC449

Abb. 35-77: Box-Whisker-Plot der Thallium-HGW_{ges} in den HGC449

Abb. 35-78: Box-Whisker-Plot der Uran-HGW_{ges} in den HGC450

Abb. 35-79: Box-Whisker-Plot der Vanadium-HGW_{ges} in den HGC451

Abb. 35-80: Box-Whisker-Plot der Zink-HGW_{ges} in den HGC452

III Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1: Auflistung der zu untersuchenden Stoffpalette – Differenzierung nach Parametern der Anlage 6, Anlage 7 und Anlage 8 der OGewV (2016) sowie Parametern der Beobachtungslisten 11

Tab. 4-2: Zusammenstellung der Beurteilungswerte in der Wasserphase (UQN, (ACP-)OW) für die Untersuchungsparameter, differenziert nach gelösten Konzentrationen und Gesamtgehalten 12

Tab. 5-1: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Messstellen in Fließgewässern (Erstprojekt)..... 21

Tab. 5-2: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Messstellen in Fließgewässern (Folgeprojekt) 22

Tab. 5-3: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Quellen (Erstprojekt) 23

Tab. 5-4: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Quellen (Folgeprojekt) 23

Tab. 5-5: Zusammenstellung der aufbereiteten und aggregierten Gewässer-/Quellanalysen in der Wasserphase (unfiltrierte Probe / Gesamtgehalt) je Untersuchungsparameter 26

Tab. 7-1: Übersicht über die Anzahl der zusätzlich beprobten Messstellen 33

Tab. 8-1: Tabellarische Übersicht über Anforderungen und Möglichkeiten von Wahrscheinlichkeitsnetzen als statistisches Verfahren zur Ermittlung von Hintergrundwerten 39

Tab. 8-2: Zuordnung der Untersuchungsparameter zu Belastungen..... 45

Tab. 9-1: Überblick über die zur Verfügung stehenden Randdaten..... 56

Tab. 13-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten in den TEZG Rur und MSS 76

Tab. 13-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 79

Tab. 14-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Kyll 91

Tab. 14-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 92

Tab. 15-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Ahr 100

Tab. 15-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 102

Tab. 16-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Erft 114

Tab. 16-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 115

Tab. 17-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten in den TEZG Niers, Schwalm und MSN..... 129

Tab. 17-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 131

Tab. 18-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG RGN..... 148

Tab. 18-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 150

Tab. 19-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse..... 161

Tab. 19-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 161

Tab. 20-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Ijsselmeerzuflüsse..... 172

Tab. 20-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 175

Tab. 21-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Lippe 188

Tab. 21-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 189

Tab. 22-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Emscher 202

Tab. 22-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 203

Tab. 23-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Ruhr 216

Tab. 23-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 218

Tab. 24-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Wupper..... 231

Tab. 24-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 232

Tab. 25-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Sieg 244

Tab. 25-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 245

Tab. 26-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Lahn 258

Tab. 26-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 259

Tab. 27-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Eder..... 268

Tab. 27-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 269

Tab. 28-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Diemel..... 278

Tab. 28-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 280

Tab. 29-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten der TEZG Weser und Hunte 294

Tab. 29-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 296

Tab. 30-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten der TEZG Obere Ems und Hase 309

Tab. 30-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE 312

Anhang

Tab. 35-1: Zusatzbeprobung – Liste der neu angelegten Messstellen.....371

Tab. 35-2: Tabellarische Gegenüberstellung der statistischen Verfahren388

Tab. 35-3: Gegenüberstellung der Messwertanzahlen bei Auswertung der Bewertungseinheit ohne Nitrat-Kriterium, mit Nitrat ≤ 5 mg/l und mit Nitrat ≤ 11 mg/l für Gesamtgehalte im TEZG Ijsselmeerzuflüsse400

Tab. 35-4: Gegenüberstellung der Messwertanzahlen bei Auswertung der Bewertungseinheit ohne Nitrat-Kriterium, mit Nitrat ≤ 5 mg/l und mit Nitrat ≤ 11 mg/l für gel. Konzentrationen im TEZG Ijsselmeerzuflüsse402

Tab. 35-5: Gegenüberstellung der Messwertanzahlen bei Auswertung der Bewertungseinheit ohne Nitrat-Kriterium, mit Nitrat ≤ 5 mg/l und mit Nitrat ≤ 11 mg/l für Gesamtgehalte im TEZG Erft.....407

Tab. 35-6: Gegenüberstellung der Messwertanzahlen bei Auswertung der Bewertungseinheit ohne Nitrat-Kriterium, mit Nitrat ≤ 5 mg/l und mit Nitrat ≤ 11 mg/l für gel. Konzentrationen im TEZG Erft409

Tab. 35-7: Gegenüberstellung der 90. Perzentile für den Parameter Arsen bei einer Auswertung mit Mittelwert bzw. Einzelmessung (neueste Analyse) im TEZG Ijsselmeerzuflüsse.....417

Tab. 35-8: Gegenüberstellung der 90. Perzentile für den Parameter Arsen bei einer Auswertung mit Mittelwert bzw. Einzelmessung (neueste Analyse) im TEZG Erft422

Tab. 35-9: Gegenüberstellung der 90. Perzentile für den Parameter Kupfer bei einer Auswertung mit Mittelwert bzw. Einzelmessung (neueste Analyse) im TEZG Ruhr427

Tab. 35-10: Zusammenstellung und Beschreibung der im BE-Namen verwendeten ID-Kürzel431

Tab. 35-11: Zusammenstellung der aufbereiteten und aggregierten Gewässer-/Quellanalysen in der Wasserphase (filtrierte Proben – gel. Konzentration) je Untersuchungsparameter453

Tab. 35-12: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE in den TEZG Rur und MSS...455

Tab. 35-13: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE in den TEZG Niers, Schwalm und MSN456

Tab. 35-14: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Erft.....457

Tab. 35-15: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Rheingraben-Nord.....458

Tab. 35-16: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Ijsselmeerzuflüsse459

Tab. 35-17: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Lippe.....460

Tab. 35-18: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Emscher.....461

Tab. 35-19: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Ruhr.....462

Tab. 35-20: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Wupper463

Tab. 35-21: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Sieg464

Tab. 35-22: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Eder465

Tab. 35-23: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Diemel465

Tab. 35-24: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE im TEZG Weser466

Tab. 35-25: Statistische Kennwerte und ermittelter HGW_{gel} (90. P.) der BE in den TEZG Obere Ems und Hase.....467

Tab. 35-26: Berechnete Hintergrundwerte (Gesamtgehalt) in den Fließwasserkörpern469

Tab. 35-27: Berechnete Hintergrundwerte (gel. Konzentration) in den Fließwasserkörpern546

IV Abkürzungsverzeichnis

ACP	allgemeine physikalisch-chemische Parameter
ADDISweb	webbasiertes Abfalldeponiedaten-Informationssystem
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AK	Arbeitskreis
AWB	artificial water body – künstlicher Wasserkörper
BE	Bewertungseinheit(en)
BG	Bestimmungsgrenze
Bk	Braunkohle
BKK	Bodenbelastungskarte
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BSAB	Bereiche für die Sicherung und den Abbau oberflächennaher Bodenschätze
C&E-Projekt	Projekt „Natürliche Hintergrundbelastung von Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen mit Schwermetallen“ der Consulting und Engineering GmbH (C&E) aus dem Jahr 2011
DB	Datenbank
DOC	dissolved organic carbon – gelöster organischer Kohlenstoff
DPSIR	Driving forces, Pressure, State, Impact, Response
DRS	Sonstige Deltarheinzuflüsse
DS	Datensatz/Datensätze
DQ	diffuse Quelle
EGLV	Emschergenossenschaft und Lippeverband
ELWAS-WEB	elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW
EZG	Einzugsgebiet
FIS StoBo	Fachinformationssystem Stoffliche Bodenbelastung
FWK	Fließwasserkörper
GD NRW	Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –
GewBEÜV	Gewässerbestandsaufnahme-, Einstufungs- und Überwachungsverordnung
GIS	Geoinformationssystem (im Rahmen des Erstprojektes wurde mit ArcGIS 10.5.1, im Folgeprojekt mit ArcGIS Pro 3.1.3 gearbeitet)

GrwV	Grundwasserverordnung
GSK	Gewässerstationierungskarte
GÜS	Gewässerüberwachungssystem
HGC	Hydrogeochemische Einheit
HGK	Hintergrundkonzentration
HGW	Hintergrundwert
HGW _{gel}	Hintergrundwert als gelöste Konzentration
HGW _{ges}	Hintergrundwert als Gesamtgehalt
HMWB	heavily modified water body – erheblich veränderter Wasserkörper
HÜK 200	Hydrogeologische Übersichtskarte Maßstab 1 : 200 000
HygrisC	Hydrologisches Grundlagen-Informationssystem
IED	Industrial Emissions Directive – Industrieemissionsrichtlinie
IFUA	Institut für Umwelt-Analyse
IS Erz	Informationssystem Erz
IS GDU	Informationssystem zu Gefährdungspotenzialen des Untergrundes
JD-UQN	Umweltqualitätsnorm, ausgedrückt als Jahresdurchschnittswert
KA	Kläranlage
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (seit 1. April 2025 <u>LANUK</u> als rechtlicher Nachfolger im Zuge der Umressortierung der Landesverwaltung NRW)
LANUK	Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LAWA-AO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser – ständiger Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer
LINEG	Linksniederrheinische Entwässerungs-Genossenschaft
LUQS	Luftqualitätsüberwachungssystem des Landes Nordrhein-Westfalen
Max. N.	Maximum der Normalpopulation
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (seit 2017 <u>MULNV</u> , seit 2022 <u>MUNV</u>)
MSN	Sonstige Maaszuflüsse, Nord
MSS	Sonstige Maaszuflüsse, Süd

MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (seit 2022 <u>MUNV</u>)
MUNV	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen
MQ	mittlerer Abfluss
n.a.	nicht auswertbar
NRW	Nordrhein-Westfalen
NWB	natural water body – natürlicher Wasserkörper
OFWK	Oberflächenwasserkörper (umfasst Fließ- und Seewasserkörper)
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
OW	Orientierungswert
PK HGW	Personenkreis Hintergrundwerte Grundwasser (der AG Hydrogeologie)
PQ	Punktquelle
Probnat	Probability Net – Wahrscheinlichkeitsnetz
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register (Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister)
RGN	Rheingraben-Nord
SGD	Staatliche Geologische Dienste
TA	Technische Anleitung
TEZG	Teileinzugsgebiet
UQN	Umweltqualitätsnorm
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
WVER	Wasserverband Eifel-Rur
ZHK-UQN	Umweltqualitätsnorm, ausgedrückt als zulässige Höchstkonzentration
ZustVU	Zuständigkeitsverordnung Umweltschutz

Teil A – Grundlagen, Methodisches

1 Veranlassung und Zielsetzung

Mit Inkrafttreten der Europäischen Richtlinie 2000/60/EG (EU-Wasserrahmenrichtlinie; WRRL) im Dezember 2000 wurde europaweit ein rechtlicher Ordnungsrahmen definiert, welcher Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik festlegt.

Der Fokus der Richtlinie gilt dabei dem „Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers“. Zur Vermeidung von Verschmutzungen sowie zur Verringerung bestehender Belastungen von Oberflächengewässern werden in Artikel 4 der WRRL Umweltziele formuliert.

Eines der Umweltziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist es, bei Oberflächengewässern spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten der Richtlinie (vorbehaltlich etwaiger Verlängerungen oder Ausnahmeregelungen gemäß Artikel 4, Absatz 4 und 5) einen guten Zustand zu erreichen. Dies beinhaltet neben der erforderlichen Betrachtung des ökologischen auch die Bewertung des chemischen Zustands eines Oberflächengewässers. Ein guter chemischer Zustand wird dadurch definiert, dass in einem Oberflächenwasserkörper (OFWK) kein Schadstoff in einer höheren Konzentration als den Umweltqualitätsnormen (UQN) entsprechend vorkommt, die in Anlage 8 (Tab. 2) der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) festgelegt sind. Für die Einstufung eines guten ökologischen Zustands eines OFWK wird die Einhaltung der in Anlage 6 (OGewV 2016) festgelegten UQN flussgebietspezifischer Schadstoffe vorausgesetzt.

Entsprechend der Zuständigkeitsverordnung Umweltschutz (ZustVU 2015) obliegt der Vollzug der Vorschriften zum Umweltrecht (Verzeichnis Teil A, ZustVU 2015) den jeweiligen Umweltschutzbehörden. Die Überwachung und Bewertung der OFWK fällt dabei in den Zuständigkeitsbereich des Landesamtes für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalens (LANUK), vor dem 1. April 2025 noch Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV), und der Bezirksregierungen, ggf. unter Beteiligung der sondergesetzlichen Wasserverbände. Die Ergebnisse des Monitorings werden in Bestandsaufnahmen, Bewirtschaftungsplänen, Wasserkörpersteckbriefen sowie Steckbriefen der Planungseinheiten dokumentiert. Dabei werden die wichtigsten Grundlageninformationen zu den Wasserkörpern in einem Einzugsgebiet zusammengestellt und Veränderungen der Gewässergüte festgehalten sowie eine mögliche Zielerreichung bewertet.

Die Ergebnisse der letzten Bestandsaufnahme (abgeschlossen in 2019) haben gezeigt, dass die Umweltziele der WRRL in den Gewässern noch nicht erreicht sind. Artikel 11, Absatz 5 der WRRL legt in diesem Fall fest, dass den Gründen für die anhaltende Überschreitung der Umweltziele nachzugehen ist. Mit Ergänzung der Rechtsgrundlage durch die Richtlinien 2008/105/EG und 2013/39/EU (mit Blick auf Umweltqualitätsnormen und prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik) besteht die Option, die Auswirkungen geogener Hintergrundwerte hierbei ebenfalls in die Betrachtungen einzubeziehen. In der Richtlinie 2013/39/EU, Artikel 2, Absatz 6 steht:

„Die Mitgliedstaaten können bei der Bewertung der Überwachungsergebnisse anhand der einschlägigen Umweltqualitätsnormen folgende Faktoren berücksichtigen:

- a) natürliche Hintergrundkonzentrationen von Metallen und ihren Verbindungen, wenn diese Konzentrationen die Einhaltung der einschlägigen Umweltqualitätsnormen verhindern;*
- b) Wasserhärte, pH-Wert, gelöster organischer Kohlenstoff oder andere Wasserqualitätsparameter, die die Bioverfügbarkeit von Metallen beeinflussen, wobei die bioverfügbaren Konzentrationen anhand geeigneter Modelle für die Bioverfügbarkeit bestimmt werden.“*

Die Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern (Oberflächengewässerverordnung; OGewV) ergänzt und konkretisiert auf Verordnungsebene die der Umsetzung der WRRL dienenden gesetzlichen Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) und der Tochterrichtlinien. Sie enthält detaillierte Regelungen, insbesondere im Zusammenhang mit der Einstufung, Darstellung und Überwachung des ökologischen Zustands, des ökologischen Potenzials und des chemischen Zustands von Oberflächengewässern. Gemäß der OGewV (2016), Anlage 9, Pkt. 3.3 gilt:

„Ist für einen Stoff nach Anlage 6 oder 8 die natürliche Hintergrundkonzentration im zu beurteilenden Oberflächenwasserkörper größer als die Umweltqualitätsnorm, so legt die zuständige Behörde eine abweichende Umweltqualitätsnorm unter Berücksichtigung der Hintergrundkonzentration für diesen Oberflächenwasserkörper fest.“

Für die Metalle Blei und Nickel (nach Anhang X der WRRL als prioritäre Stoffe definiert) gilt zudem:

„Ist der [...] ermittelte Jahresdurchschnitt größer oder gleich der JD-UQN, kann bei dessen Beurteilung die Bioverfügbarkeit berücksichtigt werden [...].“

Grundvoraussetzung für die Nutzung der Option, abweichende UQN festzulegen, ist also die Kenntnis der geogenen Hintergrundkonzentrationen (HGK).

Hierzu wurde bereits 2011 ein durch das damalige LANUV betreutes Projekt der Consulting und Engineering GmbH zur „Natürliche(n) Hintergrundbelastung von Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen mit Schwermetallen“ fertiggestellt (C&E 2011; C&E-Projekt). Im Rahmen des Gutachtens wurden im Wesentlichen Monitoringdaten ausgewertet und für die Parameter Blei, Cadmium, Nickel, Kupfer und Zink Hintergrundwerte auf der Ebene von Planungseinheiten und Gruppen von Planungseinheiten abgeleitet. Für die Berücksichtigung geogener Hintergrundwerte in der Maßnahmenplanung ist jedoch eine kleinräumigere und wasserkörperscharfe Kenntnis der natürlichen Hintergrundkonzentrationen wesentlich sinnvoller.

Aus diesem Grund wurde der Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen (GD NRW) im Jahr 2016 durch das damalige Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) – jetzt Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr (MUNV) – mit der Erstellung eines neuen Gutachtens zu „Natürliche(n) Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens“ beauftragt.

Ziel des Untersuchungsprojektes war eine gewässerspezifische Beurteilung der natürlicherweise vorhandenen (geogenen) Konzentrationen an WRRL-relevanten Schwer- und Halbmetallen, die als dokumentierte Begründung für Überschreitungen bzw. Anpassungen der UQN dienen kann. Im Unterschied zum C&E-Projekt sollten nun geogene HGK für bis zu 19 Stoffe festgelegt werden – und dies möglichst auf der Ebene der Fließwasserkörper (FWK). Aufgrund des geowissenschaftlichen Ansatzes war bei der Untersuchung auch der geochemische Hintergrund, d. h. das Stoffinventar in den jeweiligen Gewässer-einzugsgebieten, mit in Betracht zu ziehen bzw. zur Plausibilisierung der Ergebnisse zu nutzen. Um eine Bereitstellung und Berücksichtigung der Hintergrundwerte für die zum damaligen Zeitpunkt laufende Bestandsaufnahme (abgeschlossen Ende 2019) zu ermöglichen, wurde der Auswertumfang für die Untersuchungsparameter allerdings räumlich begrenzt: Auswertungen wurden ausschließlich in jenen Bereichen vorgenommen, in denen die Parameter im dritten Monitoringzyklus Überschreitungen der UQN bzw. des Orientierungswertes aufwiesen (vgl. Kap. 4.2 Stoffkulisse).

Im Dezember 2023 wurde der GD NRW durch das MUNV erneut mit der Erstellung eines Gutachtens zu „Natürliche(n) Hintergrundkonzentrationen in Oberflächenwasserkörpern Nordrhein-Westfalens“ beauftragt. Dabei sollen die natürlichen Hintergrundkonzentrationen in jenen Bereichen betrachtet werden, die im Rahmen des Erstprojektes nicht ausgewertet wurden. Das Folgeprojekt knüpft hierbei nahtlos an das Vorgängerprojekt aus dem Jahr 2019 an. In Ergänzung zu den 19 Untersuchungsparametern des Erstprojektes sind zudem drei weitere (Übergangs-)Metalle NRW-weit zu beurteilen und Hintergrundwerte zu ermitteln.

2 Einleitung

Das Erstprojekt zur Ermittlung „Natürliche(r) Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens“ startete im Oktober 2016. Der Zeitrahmen des Projektes orientierte sich an den Zeitvorgaben der WRRL. Die nächste WRRL-Bestandsaufnahme einschließlich der Zielerreichungsprognose war bis zum 22. Dezember 2019 zu erstellen, der Entwurf des dritten Bewirtschaftungsplans musste zum 22. Dezember 2020 vorgelegt werden. Damit die Ergebnisse rechtzeitig zur Auswertung für die Bestandsaufnahme vorliegen, war für das Projekt ein Zeitrahmen von zwei Jahren vorgesehen. Nach einer Verlängerung der zunächst bis September 2018 vorgesehenen Projektdauer wurden die ermittelten Hintergrundwerte am 2. April 2019 dem LANUV und dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (MULNV) – inzwischen LANUK und MUNV – zur Verfügung gestellt. Mit Abgabe des Gutachtens wurde das Erstprojekt im September 2019 offiziell abgeschlossen. Die einzelnen Projektphasen bzw. Arbeitspakete, die im Verlauf des Projektes abgearbeitet wurden, sind vereinfacht in einem Zeitplan (Abb. 2-1) dargestellt.

Zur Unterstützung der Projektbearbeitung war ein begleitender Arbeitskreis aus Verantwortlichen der Wasserwirtschaft für die Umsetzung der WRRL in NRW und anderen Fachleuten einberufen worden. Der Arbeitskreis traf sich in regelmäßigen Arbeitsbesprechungen zum fachlichen Austausch und um die einzelnen Bearbeitungsschritte („milestones“) gemeinsam mit dem Auftraggeber zu diskutieren und abzustimmen. Außerdem wurde es im Sinne eines praktikablen wasserwirtschaftlichen Vollzugs der

Projektergebnisse als zielführend angesehen, bereits vor der eigentlichen Auswertung das Expertenwissen vor Ort einfließen zu lassen.

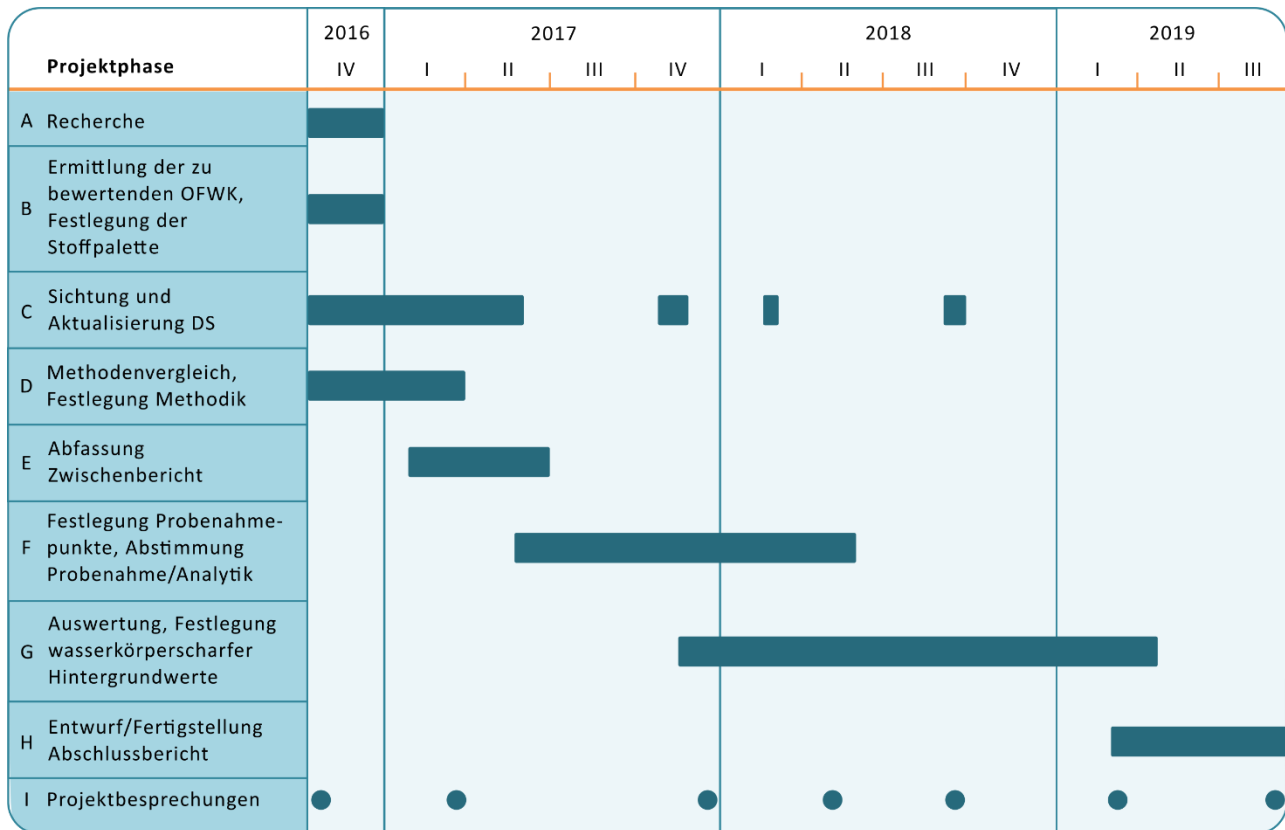


Abb. 2-1: Zeitplan Erstprojekt (2016 – 2019)

Als Startphase des Projektes wurde eine umfangreiche **Recherche** in der nationalen und internationalen Literatur durchgeführt. Dabei wurde nach Untersuchungsvorhaben mit Bezug zu Hintergrundgehalten/-konzentrationen in den verschiedensten Medien, wie Oberflächenwasser, Gewässersediment, Grundwasser und Sickerwasser sowie in Böden und Gesteinen, gesucht.

Es konnten umfangreiche Literatur, Berichte und Gutachten zu dem Gesamtthema gefunden werden. Diese wurden unter anderem hinsichtlich ihrer konzeptionellen Ansätze und auch zu ganz spezifischen, bei der durchzuführenden Untersuchung anstehenden Aspekten gesichtet und bewertet, wie z. B.:

- Randbedingungen bei der Erhebung der Datensammlungen,
- Präselektion/Selektion von Daten,
- Vereinzelung von Zeitreihen,
- Umgang mit Daten unterhalb der Bestimmungsgrenze,
- Harmonisierung der Datensätze,
- verwendete statistische Methode,
- Verlässlichkeit der Methode,

- Definition des Hintergrundwertes/-gehaltes,
- Aufwand,
- Anwendbarkeit der Ergebnisse.

Daneben wurden auch Untersuchungsberichte beschafft, die direkte Anhaltspunkte für geogen bedingte erhöhte Stoffkonzentrationen in FWK NRW geben können (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), LANUV, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) u. a.) und somit bei der Plausibilisierung der Auswertergebnisse möglicherweise hilfreich sein könnten.

Für die verbindliche **Festlegung der relevanten Stoffpalette** wurden Beratungen auf Bundes- und EU-Ebene abgewartet. Unter deren Berücksichtigung erfolgte im Dezember 2016 eine abschließende Festlegung der im Projekt zu untersuchenden Parameter; dabei sind von den ursprünglich in Betracht gezogenen 24 Parametern fünf entfallen (Aluminium, Antimon, Tellur, Titan, Zinn). Die endgültige Stoffpalette sowie die sich daraus ergebende Stoffkulisse werden in Kapitel 4 behandelt.

Aufgrund der höheren Anforderungen bzw. Erwartungen an das Projekt war es notwendig, mit einer umfassenderen Datenbasis in die Auswertephase zu gehen, als das bei dem 2011 abgeschlossenen C&E-Projekt der Fall war. Daher erfolgte zunächst eine **Sichtung vorhandener Datensätze** und deren **Aktualisierung**. Zur Verdichtung der Daten in der Fläche wurden zudem weitere Daten bei den Wasserverbänden angefordert. Die Akquirierung von ‚harten‘, d. h. quantitativ auswertbaren Daten bei den datenhaltenden Stellen gestaltete sich dabei schwieriger und zeitintensiver als erwartet. Die Aufnahme von Daten wurde im August 2018 abgeschlossen. Die erhaltenen Datensätze waren zudem zu bereinigen und in eine Form zu bringen, die ihr Einspeisen in die Projektdatenbank ermöglichte. Daneben wurden auch ‚weiche‘ Daten, die der Plausibilisierung der Ergebnisse dienen sollen, erfasst (Kap. 9).

Im Rahmen des Arbeitspaketes **Methodenvergleich, Festlegung der Methodik** wurde die recherchierte Literatur ausgewertet. Es wurden methodische Ansätze und Auswerteverfahren verglichen und bewertet. Aufgrund der Vorgabe der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser – ständiger Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO 2015; LAWA-AO), die die geogene HGK als 90. Perzentil eines als natürlich angesehenen Datenkollektivs definiert, wurde der Fokus auf statistische Auswerteverfahren gelegt. Für zwei in die engere Auswahl gezogene statistische Verfahren fanden Besprechungen mit den Autoren statt und einzelne Testauswertungen wurden vorgenommen.

Ein im Frühjahr 2017 abgefasster **Zwischenbericht** wurde nach Abstimmung mit dem Auftraggeber im Juli 2017 vorgelegt und ist im Internet verfügbar (SCHUSTER & ULLMANN 2017). Zeitgleich erfolgte eine **Festlegung von Probenahmepunkten**, um die bis dahin vorliegende Datenbasis so weit wie möglich weiter zu verdichten. Die entsprechende Beprobung und die Analytik wurden durch das LANUV im Zeitraum von September 2017 bis Juni 2018 durchgeführt. Die **Auswertung der Daten** zur Festlegung von wasserkörperscharfen Hintergrundwerten wurde im April 2019 fertiggestellt.

Das aktuelle **Folgeprojekt** startete im Januar 2024 und knüpft unmittelbar an das Erstprojekt und dessen Ergebnisse an. Die **Bestandsdaten** wurden zu Projektbeginn gesichtet und aufbereitet. Anschließend fand eine **Literaturrecherche** zu den drei neu hinzugekommenen Parametern statt. Dabei wurde sich primär auf die geogenen und anthropogenen Eintragspfade der Parameter konzentriert. Im Zuge dieser Recherchearbeiten wurde auch neu erschienene Literatur der Bestandsparameter aufgenommen.

Zusätzlich zur bereits bestehenden Datenbasis des Erstprojektes war es notwendig, weitere Daten für die neu hinzugekommenen Parameter zu akquirieren. Die **Datenakquise** wurde im Juli 2024 abgeschlossen. Im Anschluss wurden die Datensätze aufbereitet, bereinigt und strukturiert und anschließend in einer Projektdatenbank zusammengeführt.

Die **Auswertung der Daten** zur Festlegung von wasserkörperscharfen Hintergrundwerten wurde Anfang Mai 2025 fertiggestellt und die Ergebnisse an das MUNV und das LANUK übermittelt. Die Auswertungen folgten der im Rahmen des Erstprojektes erarbeiteten Methodik. Einen Überblick über den zeitlichen Ablauf des Folgeprojektes gibt Abbildung 2-2.

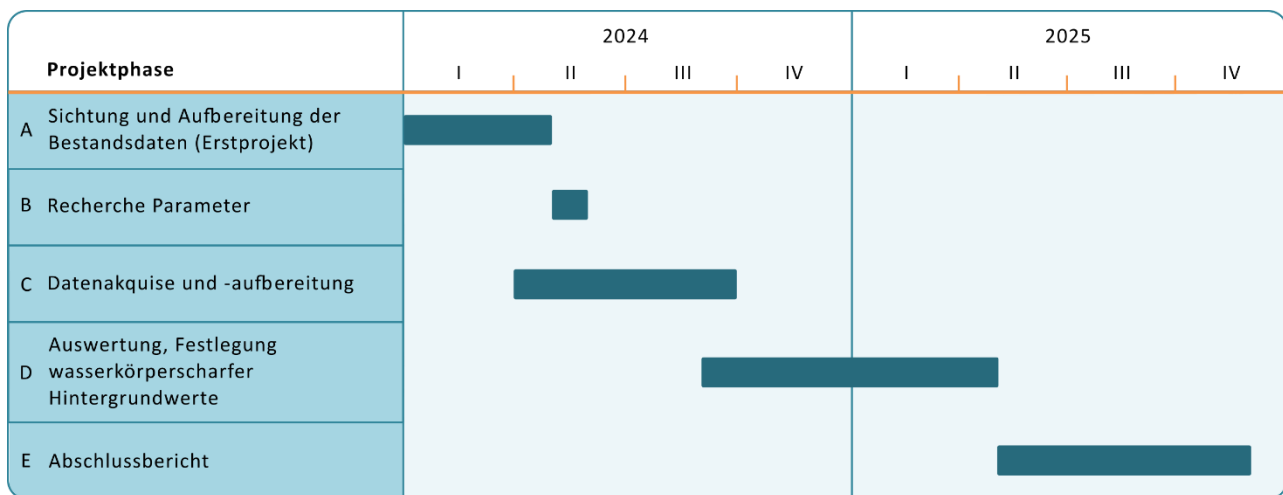


Abb. 2-2: Zeitplan Folgeprojekt (2024 – 2025)

Die Vorgehensweise und die Ergebnisse des Erst- und Folgeprojektes werden im vorliegenden Bericht gemeinsam dokumentiert. Der Abschlussbericht wird als zweite, erweiterte Fassung des Erstgutachtens (SCHUSTER & ULLMANN 2019) am 30. November 2025 an das MUNV übergeben. Da die Vorgehensweise und Ergebnisse beider Projekte ineinandergreifen, werden sie hier als ein Projektvorhaben behandelt.

3 Definition Hintergrundkonzentration

Wissenschaftliche Untersuchungen befassen sich zunehmend mit natürlich entstandenen Stoffverteilungen (geogene Hintergrundkonzentrationen/geochemischer Hintergrund) in Umweltmedien (Boden, Wasser, Luft). Mit Aufnahme der natürlichen Hintergrundkonzentrationen in die WRRL (Anhang I, Teil B, 2008/105/EG) ist der geogene Hintergrund auch in der Wasserwirtschaft zu einer wichtigen Referenzgröße geworden.

Ursprünglich stammt der Begriff des geochemischen Hintergrundes aus der **Explorationsgeochemie**. Dort bezeichnet er das normale Vorkommen eines Elementes im Untergrund eines geochemisch einheitlichen Gebietes. Anomalien heben sich vor dem Hintergrund der ermittelten Basiskonzentrationen ab (REIMANN & GARRETT 2005). Die Verwendung des Hintergrundes dient somit in diesem Zusammenhang der Identifizierung von Stoffanreicherungen. Die Quelle der Anomalie ist dabei nicht von Bedeutung, sondern vielmehr ob die erhöhten Stoffkonzentrationen eine abbauwürdige Lagerstätte kennzeichnen (GALUSZKA & MIGASZEWSKI 2011).

Mit steigendem Umweltbewusstsein gewann der Begriff des geochemischen Hintergrundes auch in der **Umweltgeochemie** an Bedeutung (MATSCHULLAT & OTTENSTEIN & REIMANN 2000). Hier liegt der Fokus der Untersuchungen auf der Abgrenzung natürlicher von anthropogen beeinflussten Konzentrationen. So kann mithilfe der Hintergrundwerte der Einfluss menschlicher Aktivität auf das Verhalten von Stoffen in der Umwelt (Mobilisierung, Migration, Sedimentation, Aufnahme) modelliert und abgeschätzt werden (GALUSZKA 2007). Darüber hinaus lassen sich unter Berücksichtigung natürlicher Hintergrundkonzentrationen belastbare Richt- und Grenzwerte für ein Gebiet ableiten, die dem Schutz der jeweiligen Umweltgüter dienen (MEDERER et al. 1998). Dies wurde mit der OGewV (2011) in die deutsche Gesetzgebung eingebunden und bildet den Ausgangspunkt des Projektvorhabens zur Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens.

Im Rahmen des Erstprojektes war zunächst festzulegen, wie der Begriff der natürlichen Hintergrundkonzentration definiert wird. Grundsätzlich bezeichnet der geogene Hintergrund eine Stoffkonzentration, die natürlich in einem Medium vorkommt und nicht durch anthropogene Einflüsse überprägt wurde (MATSCHULLAT & OTTENSTEIN & REIMANN 2000; GOUGH 1993 in GALUSZKA 2007). In der Literatur findet sich jedoch eine **Vielzahl von Definitionen**, deren unterschiedliche Verwendung zu Missverständnissen führen kann (MATSCHULLAT & OTTENSTEIN & REIMANN 2000). Dabei werden unter anderem verschiedene Begriffe als Synonym zueinander verwendet und an anderer Stelle differenziert eingesetzt. Darunter fallen z. B. der geochemische Hintergrund sowie der natürliche (geogene) Hintergrund oder natürliche Hintergrundkonzentrationen/-gehalte/-belastungen und -werte.

Zur Abgrenzung der Begrifflichkeiten werden im Folgenden zusammenfassend Definitionen und Begriffe aus der Literatur aufgegriffen und kurz erläutert. Auf eine detaillierte Auflistung und Differenzierung aller Definitionsmöglichkeiten wird jedoch an dieser Stelle verzichtet.

Natürlicher Hintergrund

Entsprechend der grundlegenden Definition von MATSCHULLAT & OTTENSTEIN & REIMANN (2000) (vgl. oberer Absatz) beschreiben auch GREIFF & KLEMM (2010) sowie REIMANN & GARRETT (2005) die natürliche Hintergrundkonzentration als einen Zustand, der an natürliche Prozesse gebunden und frei von anthropogenen Belastungen ist. Dies geht konform mit der Angabe von HÖLTING & COLDEWEY (2009), dass die natürliche „Belastung“ an die Gesteinseigenschaften sowie die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Stoffes gebunden ist.

Anthropogene Überprägung der natürlichen Stoffkonzentrationen

Als Resultat der zunehmenden Industrialisierung, Urbanisierung sowie der landwirtschaftlichen (Intensiv-)Nutzung spiegeln die heutigen Zustände in den Umweltmedien eine Kombination aus natürlichen und anthropogenen Einflüssen wider (GALUSZKA & MIGASZEWSKI 2011). Die Identifizierung anthropogener (Punkt-)Quellen ist zwar grundsätzlich möglich, eine klare Abtrennung aller anthropogener Stoffeinträge kann jedoch nicht zur Gänze vorgenommen werden (GALUSZKA & MIGASZEWSKI 2011). REIMANN & GARRETT (2005) argumentieren in diesem Zusammenhang, dass unbeeinflusste Gebiete nicht mehr existieren und ein natürlicher Hintergrund im ursprünglichen Sinne nicht mehr zu ermitteln sei.

Dieser Umstand wurde auch in den Bestimmungen der **Oberflächengewässerverordnung** (OGewV 2016) sowie der Technischen Anleitung des LAWA-AO (LAWA-AO 2015) berücksichtigt. So wird in der OGewV (2016) die natürliche Hintergrundkonzentration definiert als „Konzentration eines Stoffes in einem Oberflächenwasserkörper, die nicht oder nur sehr gering durch menschliche Aktivität beeinflusst ist“. Der LAWA-AO (2015) ergänzt entsprechend der Begründung der OGewV (Kabinettsvorlage): „Menschliche Tätigkeiten können z. B. auch solche sein, die bereits beendet sind (z. B. mittelalterlicher Bergbau) oder außerhalb des Einzugsgebietes geschehen, dieses aber beeinflussen (z. B. Ferntransport von in die Atmosphäre emittierten Schadstoffen).“ Durch SCHENK (2003) wird wiederum definiert, dass Einflüsse aus einer Jahrhunderte alten Kulturlandschaft als natürlich anzusehen sind. C&E (2011) hält in diesem Zusammenhang fest, dass vorindustrieller Bergbau ebenfalls als Kulturlandschaft (natürlicher Teil der Landschaftsentwicklung) anzusehen ist und legt die Grenze zwischen Altbergbau und industriellem Bergbau auf Mitte des 18. Jahrhunderts.

Umsetzung in der Literatur

In der Gesetzgebung wird somit per Definition ein gewisser anthropogener Anteil an der natürlichen Hintergrundkonzentration geduldet. Eine entsprechende Differenzierung der Begrifflichkeiten wie beispielsweise im englischsprachigen Raum (hier wird vom „natural background“ oder „ambient background“ gesprochen (REIMANN & GARRETT 2005; PETERS & MERRINGTON & CRANE 2012)) erfolgt jedoch nicht.

Während einzelne Autor*innen den Umstand einer diffusen anthropogenen Komponente in der Hintergrundkonzentration voraussetzen, wird in anderen Arbeiten explizit festgehalten, dass der ermittelte natürliche Hintergrund durch ubiquitäre Stoffeinträge überprägt ist (KUNKEL et al. 2004; TETZLAFF et al. 2013; WAGNER et al. 2011).

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO 2003) führt diesen Schritt noch weiter und nimmt eine begriffliche Differenzierung vor. Der geogene Grundgehalt umfasst „den Stoffbestand [eines Bodens], der sich aus dem Ausgangsgestein (lithogener Anteil), ggf. Vererzungen (chalkogener Anteil) und der durch pedogenetische Prozesse beeinflussten Umverteilung (Anreicherung oder Verarmung) von Stoffen im Boden ergibt“. Unter dem Begriff Hintergrundgehalt wird sowohl der geogene Grundgehalt als auch die ubiquitäre Stoffverteilung, welche aus diffusen Einträgen resultiert, zusammengefasst. Punktuelle Stoffeinträge (geogen, chalkogen oder anthropogen) fließen wiederum nicht in den Hintergrundgehalt mit ein.

Hintergrundwert

Hintergrundwerte basieren auf den natürlichen Hintergrundkonzentrationen und beschreiben repräsentative Werte für einen Stoff (LABO 2003) innerhalb eines bestimmten Gebietes. Der LAWA-AO (2015) gibt als statistische Kenngröße das 90. Perzentil der natürlichen Stoffverteilung innerhalb eines Einzugsgebietes als Hintergrundwert vor. SCHNEIDER et al. (2014) argumentieren, dass durch die Verwendung des 90. Perzentils ein gewisser Anteil der diffusen Belastungen vom Hintergrundwert abgetrennt werden kann. So wird angenommen, dass es sich bei den abgetrennten 10 % der Konzentrationsverteilung um anthropogen diffus erhöhte Konzentrationen handelt. Durch die Verwendung des Perzentils wird somit nach SCHNEIDER et al. (2014) ein gewisser diffuser Anteil von den Hintergrundkonzentrationen abgetrennt. Andere Arbeiten verwenden z. B. das 10. Perzentil (PETERS & MERRINGTON & CRANE 2012), das 50. Perzentil (GREIFF & KLEMM 2010; MEBANE & ESSIG 2003; SCHNEIDER et al. 2003) oder das 84,1. Perzentil (SCHLEYER & KERNDORFF 1992) als Hintergrundwert.

Fazit

Der Begriff der natürlichen (geogenen) Hintergrundkonzentration wird im Rahmen des Projektes konform zu der Definition der OGewV (2016) verwendet. Sie bezeichnet jene Stoffverteilungen, die in Oberflächengewässern durch natürliche Prozesse entstanden und durch eine unbestimmte, ubiquitäre und häufig diffuse Komponente überprägt sind.

Einflüsse, die aus einer Jahrhunderte alten Kulturlandschaft resultieren (z. B. historischer Bergbau vor Mitte des 18. Jh.), werden als geogen eingestuft. Definierbare und ausgeprägte diffuse Belastungen sowie punktuelle anthropogene Stoffeinträge sind jedoch von der Hintergrundkonzentration abzutrennen.

Die Hintergrundkonzentrationen sind in geochemisch einheitlichen Einheiten zu ermitteln und sind ausschließlich repräsentativ für das entsprechende Gebiet. Anders als durch die LABO (2003) definiert, werden im Rahmen der vorliegenden Auswertungen auch geogene Anomalien (z. B. Vererzungen) als natürliche Hintergrundkonzentrationen verstanden. Dabei ist festzuhalten, dass Bereiche erhöhter Stoffkonzentrationen einer eigenen geochemischen Einheit angehören und somit separat auszuwerten sind.

Die **Vorgaben des LAWA-AO (2015)** sind für das Projektvorhaben bindend. Somit ist als Hintergrundwert das 90. Perzentil der als natürlich anzusehenden Konzentrationsverteilung anzunehmen (LAWA-AO

2015). Dabei ist jedoch festzuhalten, dass in begründeten Fällen auch Abweichungen von der Technischen Anleitung (LAWA-AO 2015) erfolgen dürfen. Voraussetzung für die Ermittlung des Hintergrundwertes ist eine repräsentative Datenbasis und eine adäquate Auswertemethodik.

4 Stoffpalette

Die im Rahmen des Projektvorhabens zu beurteilende Stoffpalette umfasst gesetzlich geregelte Metalle und Halbmetalle sowie Sulfat, welche in den Anlagen 6, 7 und 8 der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) aufgeführt sind. Weiterführend wird die Stoffpalette durch ausgewählte (Halb-)Metalle der aktuellen Beobachtungslisten der Europäischen Kommission und der Bundesrepublik Deutschland ergänzt. Für das Erstprojekt wurden zunächst 19 Untersuchungsparameter festgelegt (im Folgenden wird der Begriff ‚Bestandsparameter‘ verwendet); im Zuge des Folgeprojektes wurde die zu untersuchende Stoffpalette um drei weitere Parameter erweitert. Tabelle 4-1 beinhaltet eine Auflistung der behandelten Parameter.

Tab. 4-1: Auflistung der zu untersuchenden Stoffpalette – Differenzierung nach Parametern der Anlage 6 (flussgebietspezifische Schadstoffe zur Beurteilung des ökologischen Zustandes), Anlage 7 (allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten) und Anlage 8 (prioritäre Schadstoffe, die den chemischen Zustand charakterisieren) der OGewV (2016) sowie Parametern der Beobachtungslisten

Anlage 6	Anlage 7	Anlage 8	Beobachtungslisten
Arsen	Eisen	Blei	Barium
Chrom	Sulfat	Cadmium	Beryllium
Kupfer		Nickel	Bor
Selen		Quecksilber	Kobalt
Silber			Mangan ¹
Thallium			Molybdän ¹
Zink			Titan ¹
			Uran
			Vanadium

¹ Ergänzung der Stoffpalette im Zuge des Folgeprojektes 2024 – 2025

Der Fokus der Untersuchungen wurde auf **Stoffkonzentrationen in der Wasserphase** gelegt. Wichtig ist hierbei eine getrennte Auswertung von filtrierten Proben (gelöste Konzentrationen) und unfiltrierten Proben (Gesamtgehalte). Während für alle Untersuchungsparameter Hintergrundwerte für den Gesamtgehalt ermittelt werden, wurde die gelöste Phase ausschließlich im Rahmen des Erstprojektes für die gesetzlich vorgegebenen Parameter der Anlagen 6 und 8 (OGewV 2016) betrachtet. Hierbei erwies sich die Auswertung gelöster Konzentrationen aufgrund der geringen Datendichte für die Berücksichtigung in der Maßnahmenplanung als nicht zielführend, sodass dieser Ansatz im Folgeprojekt nicht weiterverfolgt wurde. Erläuterungen und Ergebnisse zu den Auswertungen der gelösten Konzentrationen sind im Anhang 35.9 dokumentiert.

4.1 Beurteilungswerte

Tab. 4-2: Zusammenstellung der Beurteilungswerte in der Wasserphase (UQN, (ACP-)OW) für die Untersuchungsparameter, differenziert nach gelösten Konzentrationen und Gesamtgehalten (LANUV 2016c; LANUV 2023)

Parameter	gelöste Konzentration ¹ [µg/l]		Gesamtgehalt ² [µg/l]
	JD	ZHK	JD
Anlage 6	Arsen	1,3 (1) ⁴	24
	Chrom	3,4	(10) ⁴
	Kupfer	1,1	(4) ⁴
	Selen	3	
	Silber	0,02	
	Thallium	0,2	
	Zink	10,9	(14) ⁴
Anl. 7 ³	Eisen		≤ 700; ≤ 1 800
	Sulfat		≤ 75 000; ≤ 220 000
Anlage 8	Blei	1,2	14
	Cadmium	≤ 0,08 - 0,25	≤ 0,45 - 1,5
	Nickel	4	34
	Quecksilber		0,07
Beobachtungslisten	Barium	60	
	Beryllium	0,1	
	Bor	100	
	Kobalt	0,9	
	Mangan		35
	Molybdän	7	
	Titan	15	
	Uran	0,44 (2) ⁴	
	Vanadium	2,4	

JD = Jahresdurchschnitt
 ZHK = zulässige Höchstkonzentration
UQN OW

¹ Die UQN bezieht sich auf die gelöste Konzentration (gelöste Phase einer Wasserprobe, die durch Filtration durch einen 0,45-µm-Filter oder gleichwertige Vorbehandlung gewonnen wurde); Nickel und Blei gelten für bioverfügbare Konzentrationen, Cadmium UQN variiert je nach Wasserhärte (5 Klassen).

² Der Orientierungswert bezieht sich auf den in der Wasserprobe gemessenen Gesamtgehalt.

³ Die Beurteilung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (Anlage 7) erfolgt fließgewässertypabhängig. Aus diesem Grund wird für die Parameter Eisen und Sulfat der maximale und minimale Beurteilungswert der verschiedenen Gewässertypen aufgeführt, der für einen guten ökologischen Zustand und ein gutes ökologisches Potenzial einzuhalten ist.

⁴ Zwischen Abschluss des Erstprojektes (September 2019) und Beginn des Folgeprojektes (Januar 2024) wurden die Beurteilungswerte einzelner Parameter angepasst. Zur Zeit des Erstprojektes geltende, abweichende Beurteilungswerte werden in Klammern angegeben.

Anders als synthetische Schadstoffe, die ausschließlich durch menschliche Tätigkeiten in die Umwelt gelangen, können Metallkonzentrationen sowohl einen natürlichen als auch anthropogenen Ursprung haben (KUNKEL et al. 2004; KLEIHAUER et al. 2012). Damit bilden Metalle bei der Zustandsbewertung der Wasserkörper einen Sonderfall. Während natürliche Konzentrationen als gegeben angesehen werden,

können anthropogene Stofferrhöhungen das Ökosystem empfindlich schädigen und Einträge in die Gewässer sind in diesem Fall zu reduzieren (REIMANN & GARRETT 2005). Zur Bewertung der jeweiligen Stoffkonzentrationen werden unterschiedliche Beurteilungswerte herangezogen: Die OGewV (2016) gibt in dem Zusammenhang UQN für prioritäre Stoffe (Anlage 8) und flussgebietspezifische Schadstoffe (Anlage 6) vor, anhand derer die Gewässer hinsichtlich ihres chemischen und ökologischen Zustandes einzustufen sind. Für allgemeine physikalisch-chemische Parameter (ACP) werden in Anlage 7 der OGewV (2016) ACP-Orientierungswerte gelistet, die zur Einstufung des ökologischen Zustandes oder des ökologischen Potenzials unterstützend herangezogen werden. Für die nicht in der OGewV (2016) geregelten Parameter der Beobachtungslisten werden in NRW ökotoxikologisch abgeleitete Orientierungswerte (OW) als Beurteilungswerte verwendet. Tabelle 4-2 gibt eine Zusammenfassung der zum Stand der Bearbeitung gültigen Beurteilungswerte (UQN, ACP-OW, OW) wieder. Es ist darauf hinzuweisen, dass auf Grundlage eines Vorschlags der Europäischen Kommission aktuell (unter anderem) eine Änderung der Richtlinie 2008/105/EG über Umweltqualitätsnormen angestrebt wird, die auch eine Anpassung der UQN für Silber und Nickel vorsieht. Die Änderungen sind bis Ende des Jahres 2027 in nationales Recht umzusetzen und damit nicht Teil des vorliegenden Berichtes.

4.2 Stoffkulisse

Einhergehend mit den im WHG gesetzten Umweltzielen besteht der Bedarf einer umfassenden Gewässerüberwachung (Monitoring), um den Zustand der Wasserkörper zu dokumentieren (LANUV 2013). Das LANUK führt regelmäßig chemische und biologische Untersuchungen durch, welche seit dem Jahr 2006 gemäß den Vorgaben der WRRL bzw. in NRW der Gewässerbestandsaufnahme-, Einstufungs- und Überwachungsverordnung (GewBEÜV 2006) erfolgen. Die in Kapitel 4.1 aufgeführten Beurteilungswerte bilden dabei die Bewertungsgrundlage der Gewässer hinsichtlich ihres ökologischen und chemischen Zustandes. Die Ergebnisse des Monitorings sind wiederum die Grundlage für die Bewirtschaftungs- und Maßnahmenplanung in den Wasserkörpern.

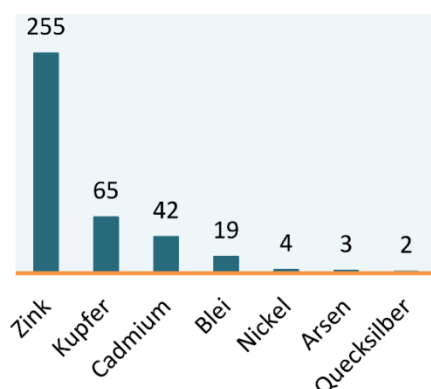


Abb. 4-1: Darstellung der parameter-spezifischen Anzahl an FWK mit Überschreitung der UQN / des OW in der Schwebstoffphase (3. Zyklus 2012 – 2014)

Für die Ermittlung der im Rahmen des Erstprojektes zu beurteilenden Stoffkulissen bildeten die Monitoringergebnisse ebenfalls den Ausgangspunkt. So gibt der LAWA-AO (2015) vor, dass Hintergrundkonzentrationen ausschließlich zu berücksichtigen sind, wenn auch eine Überschreitung der UQN oder des OW im entsprechenden Wasserkörper zu verzeichnen ist.

In den Abbildungen 4-1 und 4-2 sind die Ergebnisse des dritten Monitoringzyklus (2012 – 2014) auszugsweise für die Schwebstoff- und die Wasserphase dargestellt. Die Säulendiagramme zeigen parameterbezogen die Anzahl an FWK auf, in denen eine Überschreitung der UQN bzw. des OW erfasst wurde. Da nur begrenzt Untersuchungen für die Schwebstoffphase durchgeführt werden, zeigt Abbildung 4-1 nur ein eingeschränktes Parameterspektrum

auf. In der Wasserphase zeichnen sich vor allem Zink, Barium, Arsen, Kupfer und Kobalt durch eine hohe Anzahl an Überschreitungen aus. Uran, Nickel, Blei, Thallium, Quecksilber, Selen und Chrom zeigten im dritten Monitoringzyklus nur bedingt Auffälligkeiten (Abb. 4-2).

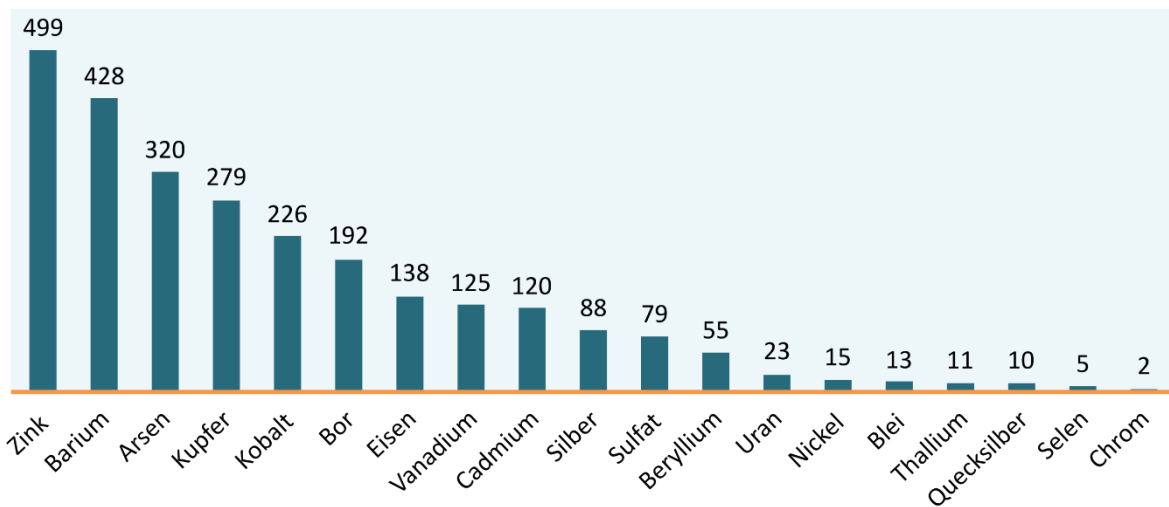


Abb. 4-2: Darstellung der parameterspezifischen Anzahl an FWK mit Überschreitung der UQN / des OW in der Wasserphase (3. Zyklus 2012 – 2014)

Eine räumliche Übersicht über die zu betrachtenden Stoffkulissen wird im Anhang 35.1 gegeben. Hier werden anhand stoffspezifischer Übersichtskarten jene FWK aufgezeigt, in denen eine Überschreitung der UQN oder des OW für den jeweiligen Parameter vorlag (Stand Oktober 2016) und somit kein guter chemischer oder ökologischer Zustand erreicht wurde. Auf diese Weise ließen sich jene Bereiche ausweisen, in denen im Rahmen des Erstprojektes Hintergrundkonzentrationen zu ermitteln waren.

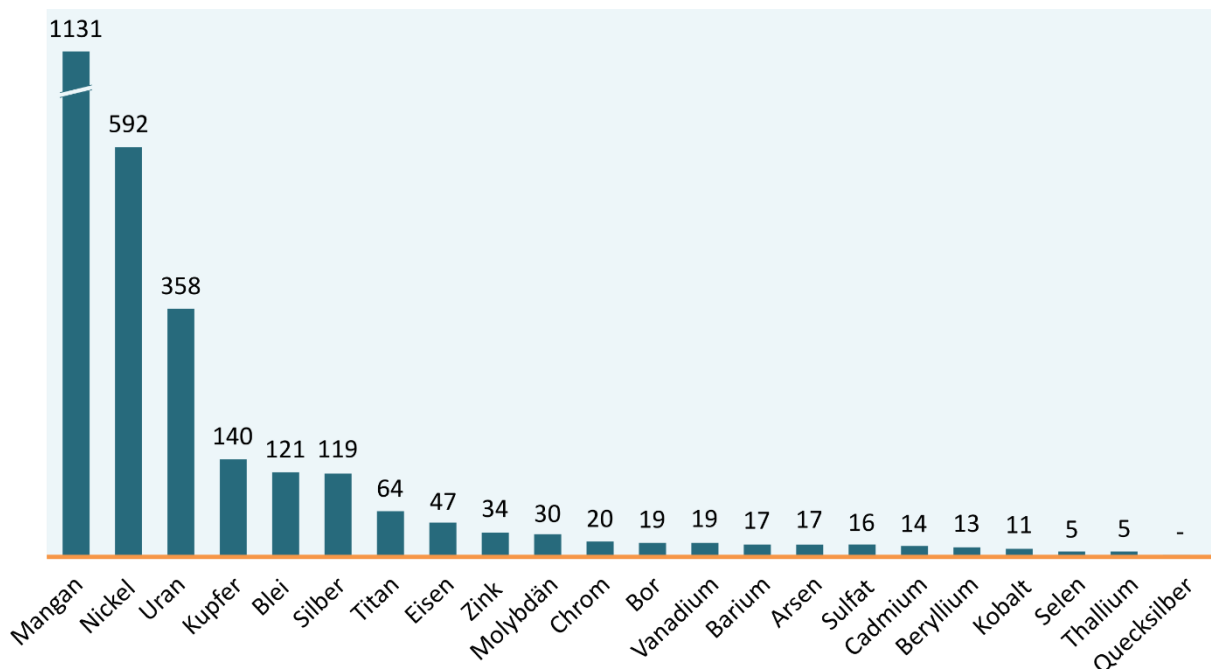


Abb. 4-3: Darstellung der parameterspezifischen Anzahl an FWK mit neu hinzugekommenen Überschreitungen der UQN / des OW in der Wasserphase (5. Zyklus 2019 – 2021)

Im fünften Monitoringzyklus (2019 – 2021) zeigten (u. a. als Resultat veränderter Beurteilungswerte) weitere FWK Überschreitungen der UQN bzw. des OW für die Untersuchungsparameter (Abb. 4-3).

Da im Erstprojekt, wie zuvor beschrieben, Hintergrundwerte in ausgewählten Bereichen (Stoffkulisse) und nicht flächendeckend bestimmt wurden, fehlen an diesen Stellen Hintergrundwerte für die Zustandsbewertung und Maßnahmenplanung. Aufgabe des Folgeprojektes ist es daher, unter Einbezug der Ergebnisse des Erstprojektes möglichst flächendeckend Hintergrundwerte für ganz NRW zu ermitteln.

4.3 Verhalten von Metallen in der Umwelt

Um eine korrekte Einstufung eines Gewässers vornehmen zu können, ist es erforderlich, die natürlich bedingten Konzentrationsspannen eines Parameters gegenüber anthropogen überprägten Konzentrationen identifizieren zu können. Die Kenntnis über das Stoffverhalten sowie signifikante Eintragspfade (anthropogen oder geogen) von Metallen in die Umwelt kann diesbezüglich von Nutzen sein.

Stoffquellen

Die Stoffkonzentrationen in Oberflächengewässern bilden die Summe aus den im Einzugsgebiet vorhandenen Randbedingungen und Prozessen (LAWA-AO 2015). So beeinflussen Einträge aus den umliegenden Medien (Gestein, Boden, Wasser, Luft), chemische und physikalische Prozesse sowie die jeweiligen Stoffeigenschaften letztendlich die Wasserbeschaffenheit des Gewässers. Dabei können geogene und anthropogene Stoffquellen unterschieden werden.

In Gewässern sind geogene Metallkonzentrationen grundlegend an die Geologie des Untersuchungs-

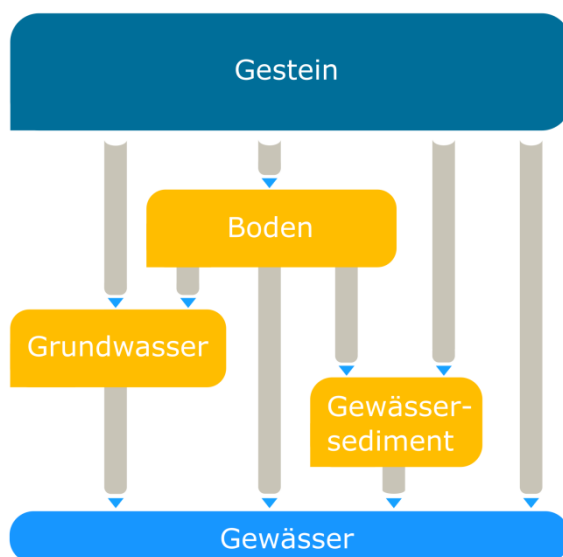


Abb. 4-4: Schematische Darstellung natürlicher Eintragspfade in die Gewässer

raumes geknüpft. Das geochemische Inventar bildet dabei den Ausgangspunkt für die Bodenbildung und die Gewässersedimente (GREIF & KLEMM 2010). Auch der Stoffgehalt des Grundwassers hängt maßgeblich von der durchströmten geologischen Formation ab (KUNKEL et al. 2004). Quellaustritte und Infiltrationen des Grundwassers speisen die Oberflächengewässer und tragen so zu der Wasserbeschaffenheit der OFWK bei (OSTE & ZWOLSMAN & KLEIN 2012). Dort, wo die Oberflächengewässer in direktem Kontakt mit dem Gestein, Boden oder Gewässersediment stehen, bestimmen Lösungs- und Erosionsprozesse den natürlichen Stoffeintrag (NORRA et al. 2000). Stoffkonzentrationen aus dem gesamten Einzugsgebiet des OFWK werden dem Vorfluter auch über den Zwischen- und den Oberflächenabfluss zugeführt (BFG 2016) (Abb. 4-4).

Die natürlichen Metallkonzentrationen werden durch menschliche Tätigkeiten und Stoffeinträge überprägt. Schadstoffe können dabei sowohl punktuell als auch diffus (flächig) in die Gewässer eingetragen werden. Während Punktquellen eindeutig zu identifizieren sind, können diffuse Quellen und daraus resultierende Stoffeinträge nur bedingt quantifiziert werden.

Abbildung 4-5 vermittelt einen Überblick über verschiedene anthropogene Stoffquellen und Eintragspfade in die Gewässer. Dabei ist festzuhalten, dass sich für jedes Element verschiedene Eintragspfade und Emissionsmuster dominant verhalten (MERKEL & SPERLING 1998).

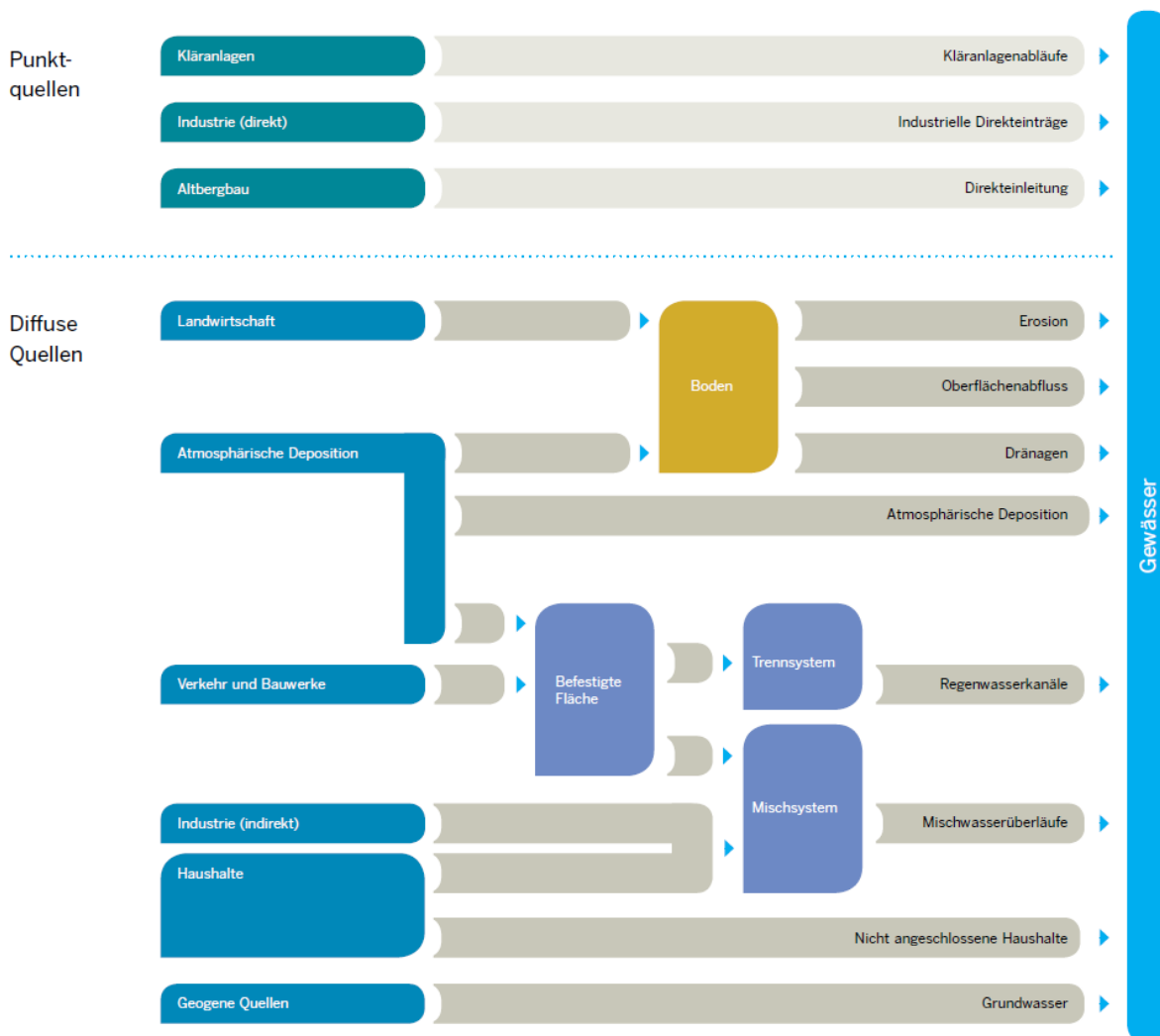


Abb. 4-5: Stoffeintragspfade in Oberflächengewässer (MKULNV et al. 2014)

Stoffverhalten

Die Beschaffenheit des Oberflächenwassers ist nicht nur abhängig vom vorhandenen Stoffangebot. Zusätzlich nehmen komplexe chemische, physikalische und biologische Prozesse (Lösung, Ausfällung, Ad-/Desorption, Ionenaustausch, ...) Einfluss auf die Bindung und Mobilität der Metalle. Auch allgemeine physikalisch-chemische Parameter (ACP – z. B. Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert) oder der Schwebstoffgehalt und die Fließgeschwindigkeit bestimmen das Bindungsverhalten der Stoffe (NORRA et

al. 2000; WAGNER et al. 2011). Dabei nehmen drei Faktoren maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten von Metallen in einem Gewässer/Ökosystem: der pH-Wert, die organische Substanz und der Tongehalt. Die Bindung an Eisen- und Manganoxide oder -hydroxide bestimmt ebenfalls über die Verfügbarkeit von Metallen (LUDWIG 2013; SCHMIDT-WYGASCH 2011). Während freie Metall-Ionen eine hohe Bioverfügbarkeit aufweisen, bewirkt ihre Komplexierung eine Reduktion der Metall-Mobilität und -Toxizität (FENT 2013).

Somit beeinflussen verschiedene äußere Faktoren das Stoffverhalten. Demzufolge ist auch die Wasserbeschaffenheit keine Konstante, sondern schwankt in einem (stoff- und lokal-)spezifischen Konzentrationsbereich. Dabei ist festzuhalten, dass verschiedene Metalle je nach ihren spezifischen Eigenschaften (innere Faktoren – z. B. Oxidationsstufe, Bindungsart, Lösungstension) unterschiedlich auf äußere Bedingungen reagieren. Dies spiegelt sich auch in Abbildung 4-6 wider. Hier wird für einzelne Metalle die prozentuale Verteilung zwischen der Schwebstoff- und der Wasserphase (im Mittel, im Gleichgewichtszustand) am Beispiel der Gütedaten in den Fließgewässern NRW aufzeigt. Während z. B. Uran überwiegend gelöst vorliegt (knapp 9 % partikulär, 91 % gelöst), ist Blei in einem Gewässer im Mittel zu rund 74 % partikulär gebunden. Vergleichbare Betrachtungen im Einzugsgebiet der Elbe (ARGE-Elbe 2000) liefern ähnliche Ergebnisse.

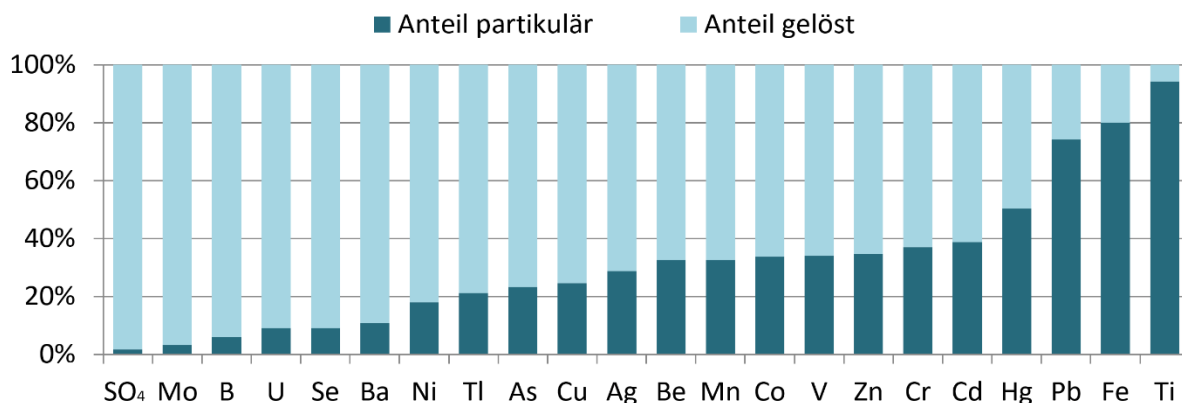


Abb. 4-6: Gegenüberstellung des gelösten und partikulär gebundenen Anteils (im Mittel) ausgewählter Metalle am Gesamtgehalt – basierend auf vorliegenden Projektdaten aus der Gewässerüberwachung (Zusammenstellung durch PEETERS 2017, erweitert durch BRENNER 2024)

Das Verhalten von Metallen in der Umwelt sowie ihre Eintragspfade sind sehr vielseitig und komplex und können hier thematisch nur angeschnitten werden. Als Bestandteile der unbelebten und der belebten Umwelt sind die Metalle weltweiten Stofftransporten unterworfen. STUMM & KELLER (1984) führen qualitative Bilanzbetrachtungen für die globalen Kreisläufe durch sowie quantifizierende Betrachtungen für regionale Kreisläufe am Beispiel der Schweiz. Belastbare Bilanzierungen für die Reservoir Land, Wasser, Luft und Biosphäre sind nicht möglich, jedoch geben historisch vergleichende Betrachtungen der Fluxes zwischen den Reservoiren Hinweise auf anthropogen bedingte Veränderungen. Stoffspezifische Informationen und Angaben zu Eintragsquellen für ausgewählte Metalle finden sich in den Stoffsteckbriefen des LANUV (2014 ff.) und des Institutes für Umweltanalysen (IFUA 2011). Für vertiefende hydrogeochemische Daten und Angaben zu Einträgen in Oberflächengewässern für die meisten der hier behandelten Metalle sei auf die DVWK-Schrift 117 „Hydrogeochemische Stoffsysteme, Teil II“ (MERKEL & SPERLING 1998) verwiesen.

5 Datenbasis

Die Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern kann auf drei verschiedenen methodischen Ansätzen aufbauen: den Gewässergütedaten, der Komposition von Sedimenten oder Grundwassergütedaten (Abb. 5-1).

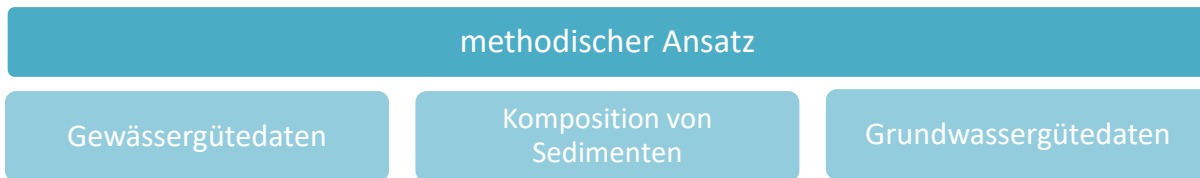


Abb. 5-1: Überblick über mögliche methodische Ansätze

Bereits vor Anlauf des Erstprojektes wurde in Vorbesprechungen abgestimmt, dass die Projektbearbeitung auf Gütedaten aus den Gewässern aufbauen soll, da im Rahmen des Gewässermonitorings umfassende Datensätze aufgenommen werden und für die Bearbeitung zur Verfügung stehen.

Damit folgt das Projektvorhaben dem gleichen methodischen Ansatz wie schon das C&E-Projekt. Weitere Auswertungen zu natürlichen Hintergrundkonzentrationen, die sich auf die Gewässergütedaten stützen, wurden z. B. durch NORRA et al. (2000), SCHNEIDER et al. (2003), GREIF & KLEMM (2010), PETERS & MERRINGTON & CRANE (2012) sowie SCHNEIDER et al. (2014) behandelt.

Als alternativen Ansatz diskutieren OSTE & ZWOLSMAN & KLEIN (2012) die Nutzung von Gewässersedimenten (Sediment-Ansatz) zur Ermittlung natürlicher Stoffkonzentrationen. Hier wird anhand von Sedimentkernen der natürliche Hintergrund in präindustriellen (unbelasteten) Sedimenten ($a c_s$; Gleichung 2) ermittelt. Mithilfe des Verteilungskoeffizienten K_p (Gleichung 1; Verteilung zwischen der Wasser- und der Schwebstoffphase) wird dieser schließlich in die Wasserphase überführt ($a c_d$; Gleichung 2).

rezent (Gleichung 1)	$K_p = \frac{c_s}{c_d}$	K_p Verteilungskoeffizient [l/kg] c_s Konzentration im Schwebstoff [mg/kg] c_d gelöste Konzentration in der Wasserphase [$\mu\text{g/l}$]
präindustriell (Gleichung 2)	$a c_d = \frac{a c_s}{K_p}$	$a c_s$ Hintergrundkonzentration im Sediment [mg/kg] $a c_d$ Hintergrundkonzentration (gelöst) in der Wasserphase [$\mu\text{g/l}$]

Zur Anwendung kommt der beschriebene Ansatz beispielsweise in Untersuchungen der IKSR (1993), bei FÖRSTNER & MÜLLER (1974) oder SALOMONS & DE GROOT (1978). Auch die Untersuchungen von PRANGE & Mitarbeiter (1997), PTKA-WTE (2000) oder DEHNER (2000) stützen sich auf einen vergleichbaren Ansatz und nutzen holozäne Auenlehme als natürliche Äquivalente rezenter Gewässersedimente zur Ermittlung geogener Hintergrundwerte im Gewässersediment. Es erfolgt allerdings kein Übertrag der Ergebnisse auf die Wasserphase.

Ein weiterer Ansatzpunkt wird ebenfalls durch OSTE & ZWOLSMAN & KLEIN (2012) aufgegriffen. Es handelt sich dabei um die Nutzung von Grundwasserdaten und den direkten Übertrag von Grundwassermessungen auf die Oberflächengewässer. In einem Fallbeispiel der Provinz Noord-Brabant (Niederlande) wurden dazu Hintergrundwerte im Grundwasser ermittelt und mit gemessenen Konzentrationen in den Oberflächengewässern verglichen. In vielen Fällen überstieg jedoch der natürliche Hintergrund im Grundwasser die Stoffkonzentrationen der Gewässer. Die Autor*innen vermuten, dass verschiedene Prozesse (z. B. Verdünnung durch Niederschlag, Adsorption an Sediment/Schwebstoff, veränderte DOC-Konzentrationen) die Differenzen bedingen. Sie folgern daraus, dass ein direkter Übertrag von Hintergrundwerten auf die Oberflächengewässer nicht zu empfehlen sei (OSTE & ZWOLSMAN & KLEIN 2012).

Dennoch werden Teilaspekte des ‚Grundwasser-Ansatzes‘ in Studien von NORRA et al. (2000) und PETERS & MERRINGTON & CRANE (2012) aufgegriffen. Hier werden Grundwasserdaten als ergänzende Datenquelle behandelt, sofern eine Vergleichbarkeit zum Oberflächenwasser gewährleistet werden kann.

5.1 Gütedaten

Bereits das C&E-Projekt war methodisch auf die Arbeit mit Gewässergütedaten festgelegt und ist dabei im Hinblick auf eine auswertbare Datenbasis an seine Grenzen gestoßen. Um im Rahmen des vorliegenden Projektvorhabens auf eine umfassendere Datenbasis zurückgreifen zu können, wurden nicht nur weitere datenhaltende Institutionen um Unterstützung gebeten, sondern auch der methodische Ansatz wurde erweitert. Ergänzend zu den Messstellen aus den Fließgewässern werden Quellanalysen für die Ermittlung der Hintergrundwerte herangezogen. Sie bilden nicht nur den Ausgangspunkt eines Gewässers, sondern markieren zugleich die Schnittstelle zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser.

Die in das Projektvorhaben einfließenden Gütedaten wurden vom LANUV, dem GD NRW, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), sondergesetzlichen Wasserverbänden, Wasserversorgern sowie der Städteregion Aachen bereitgestellt. Für die 19 Bestandsparameter wurde im Erstprojekt eine Datenbank mit Analysen aus Fließgewässern und Quellen zusammengestellt. Für weiterführende Auswertungen der Bestandsparameter im Folgeprojekt wird auf die bereits existierende Datenbank zurückgegriffen. Im Zuge des Folgeprojektes wurde die Projektdatenbank zudem um Analysen für Mangan, Molybdän und Titan ergänzt.

5.1.1 Oberflächengewässer

Durch das LANUV wurden eine Access-Datenbank sowie Excel-Tabellen mit Daten aus dem **Gewässerüberwachungssystem** (GÜS) des Landes zur Verfügung gestellt. Das Überwachungssystem ist darauf ausgelegt, den IST-Zustand eines Gewässers zu erfassen und so die Entwicklung der Gewässergüte in einem Wasserkörper zu überwachen. Die Messpunkte sind häufig in Fließgewässern mit einem Einzugsgebiet > 10 km² stationiert und unterliegen unterschiedlich starken anthropogenen Beeinflussungen. Im Rahmen des Monitorings erfolgt eine regelmäßige Beprobung der Messstellen.

Für den Zeitraum von 1988 bis 2018 sind in der Datenbank Analysen der 19 Bestandsparameter sowie allgemeiner chemischer und physikalisch-chemischer Parameter (ACP) hinterlegt. Für Mangan, Molybdän und Titan wurden Analysen, inklusive zugehöriger ACP, für den Zeitraum von 1988 bis 2024 seitens des LANUV bereitgestellt (Auflistung aller Parameter in Anhang 35.2). Neben den gemessenen Konzentrationen liegen Informationen bezüglich des untersuchten Probengutes (Fließgewässer, Stillgewässer, Schwebstoff, Sediment), der Probenbehandlung (Filtration, Gesamtgehalt) und der Analysemethode vor. Die GÜS-Daten bilden die Grundlage der Projektdatenbank.

Als weitere Datenquelle wurden durch die BGR die Daten der **Geochemischen Atlanten** aus 1985 und aus 2006 bereitgestellt.

Von 1977 bis 1983 wurden durch die BGR systematisch geochemische Untersuchungen getätigt mit dem Ziel, innerhalb der Bundesrepublik Deutschland Schwermetallgehalte in Bachsedimenten (30 untersuchte Parameter) und Bachwässern (zehn untersuchte Parameter) zu erfassen und zu dokumentieren. Die Probenahme erfolgte im Zeitraum von Mai bis September und wurde einmalig pro Entnahmepunkt vorgenommen (FAUTH et al. 1985). Bei einer Belegungsdichte von einer Probe pro 3 km² liegen innerhalb von NRW 10 587 Messpunkte. Die Daten sind im Produktcenter der BGR (<https://produktcenter.bgr.de>) öffentlich zugänglich.

Mit Beginn der Untersuchungen für den neuen Geochemischen Atlas (2006) wurde das zu untersuchende Parameterspektrum auf bis zu 75 Einzelparameter erweitert. Die Belegungsdichte wurde zugleich auf eine Probe pro 380 km² reduziert. Anlässlich des Erstprojektes wurde ein Datenauszug für 86 Messstellen in NRW durch die BGR zur Verfügung gestellt. Eine endgültige Veröffentlichung des neuen Geochemischen Atlas liegt zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung nicht vor.

Während im Geochemischen Atlas von 1985 überwiegend anthropogen weniger beeinflusste Bereiche beprobt wurden (Oberläufe von Bächen, Brunnen, Quellen), dokumentiert der neue Geochemische Atlas auch Bereiche erhöhter Konzentrationen, die auf anthropogene Tätigkeiten zurückgehen (BIRKE et al. 2006; LAWA-AO 2015).

Um die Datenbasis weiterführend zu verdichten, wurden die **sondergesetzlichen Wasserverbände** sowie einzelne Wasserversorger mit der Bitte um Bereitstellung zusätzlicher Gütedaten aus den Gewässern kontaktiert. Weitere Messwerte wurden von der Städteregion Aachen zur Verfügung gestellt.

Die Tabellen 5-1 und 5-2 geben einen Überblick über die im Erst- und Folgeprojekt akquirierten Daten und ihre Herkunft.

Tab. 5-1: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Messstellen in Fließgewässern (Erstprojekt)

Datenherkunft	Stoffpalette																			Mess-zeitraum	Mst.-anzahl
	Ag	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Se	SO ₄	Ti	U	V	Zn		
LANUV	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1988 – 2017	5864
Aggerverband		x	x			x		x	x	x	x	x	x		x				x	2010 – 2016	76
EGLV	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	2010 – 2017	224
enwor GmbH			x	x		x		x	x	x		x	x						x	2014 – 2016	17
Erftverband		x	x			x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	2011 – 2016	75
LINEG	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1990 – 2017	452
Städteregion Aachen		x				x		x	x		x	x	x			x			x	2018	32
WVER		x				x		x	x	x	x	x	x		x				x	2007 – 2016	92
Wupperverband	x		x	x		x			x							x			x	2015 – 2016	20
Geochemischer Atlas 1985						x	x		x			x	x					x		1977 – 1983	10587
Geochemischer Atlas 2006	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1999 – 2006	86

Tab. 5-2: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Messstellen in Fließgewässern (Folgeprojekt)

Datenherkunft	Stoffpalette			Messzeitraum	Mst.-anzahl
	Min	Mio	Ti		
LANUV	x	x	x	1988 – 2024	4 596
Aggerverband	x		x	2015 – 2024	56
EGLV	x	x	x	2010 – 2024	481
enwor GmbH	x			2019 – 2024	17
Erftverband	x			2000 – 2024	122
LINEG	x	x	x	1990 – 2024	380
Ruhrverband	x	x	x	2009 – 2024	432
WVER	x			2016 – 2023	25

5.1.2 Quellen

Quellen bilden als Ursprung eines Gewässers eine wichtige Informationsquelle im Hinblick auf seine natürliche Wasserbeschaffenheit. Im Quellbereich wird in der Regel eine geringe Beeinflussung durch menschliche Aktivitäten vermutet (LAWA-AO 2015). Aus diesem Grund wurden zusätzlich zu Gütemessungen in den Oberflächengewässern auch Quellanalysen für das Projektvorhaben zusammengestellt.

Tabelle 5-3 gibt einen Überblick über die Datenlieferungen des Erstprojektes, Tabelle 5-4 über jene des Folgeprojektes.

Aus dem im GD NRW vorliegenden **Quellkataster** wurde jeweils ein Datenbankauszug für die Untersuchungsparameter zusammengestellt. Das Kataster umfasst neben hausinternen Daten auch Fremdanalysen und projektbezogene Quellerfassungen, wie beispielsweise aus dem Projekt „Quellen am Niederrhein“ des Landschaftsverbandes Rheinland (LVR). Der Datenbankauszug der Bestandsparameter umfasst rund 1 306 Quellen mit Analysen in einem Zeitraum zwischen 1971 und 2013. Für die drei neuen Parameter liegen innerhalb des Zeitraums 1939 bis 2020 1 232 Quelleinträge vor. Dabei ist anzumerken, dass mehr als 80 % bzw. 90 % der Analysen älter als 25 Jahre sind (Stand 2025).

Zudem wurde im Rahmen des Erstprojektes durch das LANUV ein Datenpaket mit Grundwasserdaten aus der zentralen Grundwasserdatenbank des Landes NRW (**HygrisC**) extrahiert. Darin sind ebenfalls Analysen von 540 Quellen erfasst, die wiederum von den restlichen Grundwasseranalysen separiert

wurden. Für 416 der aufgenommenen Quellen liegen Messungen der Bestandsparameter vor. Für das Folgeprojekt wurden seitens des LANUV Analysen von insgesamt 468 Quellstandorten übermittelt.

Tab. 5-3: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Quellen (Erstprojekt)

Datenherkunft	Stoffpalette																			Messzeitraum	Mst.-anzahl
	Ag	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Se	SO ₄	Ti	U	V	Zn		
Quellkataster GD NRW	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1971 – 2013	1306
LANUV (HygrisC)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1985 – 2016	540
Erftverband		x	x	x		x		x	x	x	x	x					x	x		1971 – 2016	62
Ruhrverband		x	x			x	x	x	x	x		x	x		x					1997 – 2015	30
Universität Münster										x					x					1982 – 2016	111

Tab. 5-4: Tabellarische Übersicht über die Datenherkunft und Anzahl der übermittelten Quellen (Folgeprojekt)

Datenherkunft	Stoffpalette			Messzeitraum	Mst.-anzahl
	Mn	Mo	Ti		
Quellkataster GD NRW	x	x		1939 – 2020	1232
LANUV	x	x	x	1922 – 2024	468
Erftverband	x	x		1983 – 2019	75
Ruhrverband	x			1997 – 2015	30

Der **Ruhrverband** führte im Zeitraum von 1997 bis 2015 ein eigenes Untersuchungsprogramm an 30 Quellen innerhalb des Ruhreinzugsgebietes durch. Anthropogen stark beeinflusste Quellen wurden dabei aus den Untersuchungen ausgeschlossen. Die Beprobung erfolgte bis 2008 einmal jährlich und wurde schließlich auf einen zweijährigen Zyklus umgestellt (Ruhrverband 2015). Sowohl im Erstprojekt als auch für das Folgeprojekt wurden Quellanalysen des Ruhrverbandes für den Zeitraum von 1997 bis 2015 bereitgestellt.

Auch der **Erfverband** führt in seinem Tätigkeitsbereich Quellanalysen durch und hat für beide Projektphasen einen Datensatz mit 62 bzw. 75 Quellen zusammengestellt.

Die **Universität Münster** führt ein eigenes Quellkataster. Bisher erfolgt in dem Zusammenhang keine Aufnahme von Spurenelementen. Für die Parameter der Anlage 7 (Fe, SO₄; OGewV 2016) konnten aber Analysen übermittelt werden.

5.1.3 Grundwasser

Zusammen mit der Datenlieferung der Quellen wurden durch das LANUV im Rahmen des Erstprojektes auch Grundwassermessungen übermittelt (Datenpaket aus HygrisC).

Im Zusammenhang mit der Ermittlung von Hintergrundwerten in Oberflächengewässern wird in der Literatur auch eine ergänzende Nutzung von Grundwasseranalysen in Bereichen von Datenlücken diskutiert. Dabei ist festzuhalten, dass im Falle eines Übertrags von Grundwasseranalysen auf Oberflächengewässer die Vergleichbarkeit der Messungen sichergestellt werden muss. Somit sind vor allem Fließgewässerabschnitte mit Grundwasseranschluss für eine entsprechende Datenergänzung geeignet und es sind ausschließlich Messungen aus dem oberen Grundwasserleiter zu nutzen. Der Abstand der Grundwassermessstellen zu den Gewässern sollte eine gewisse Distanz (z. B. 500 m) nicht überschreiten, sodass von einer vergleichbaren Wasserbeschaffenheit ausgegangen werden kann. Als weiteres Kriterium setzt NORRA et al. (2000) diesbezüglich einen Sauerstoffgehalt von mehr als 5 mg/l (oxidierender Bereich) voraus.

Konkrete Untersuchungen zu Hintergrundwerten, abgeleitet aus Grundwasserdaten im Vergleich zu Hintergrundwerten in Oberflächengewässern in einem Fallbeispiel der Provinz Noord-Brabant (OSTE & ZWOLSMAN & KLEIN 2012) zeigten jedoch abweichende Ergebnisse auf. Die Beobachtungen durch OSTE & ZWOLSMAN & KLEIN (2012) legen nahe, dass eine direkte Vergleichbarkeit von Grundwasseranalysen und Gütedaten aus Fließgewässern nur unzureichend durch gesetzte Randbedingungen (wie z. B. Sauerstoffgehalt) sichergestellt werden kann. Eine Zusammenführung der verschiedenen Gütedaten ist somit nicht zu empfehlen und wird im Rahmen des Projektvorhabens nicht weiterverfolgt.

5.2 Datenaufbereitung und Zusammenführung

Bevor die Gütedaten in die Auswertung einfließen konnten, mussten diese aufbereitet und anschließend in einer Datenbank zusammengeführt werden. Dabei waren Duplikate aus den Daten zu entfernen, Inkonsistenzen zu bereinigen und Mehrfachanalysen auf eine Einzelmessung zu reduzieren. Im Anschluss erfolgte eine Homogenisierung der Daten (bzgl. Einheiten und Datenstruktur), bevor sie in einer Datenbank aggregiert wurden. Eine Übersicht über die einzelnen Bearbeitungsschritte gibt Abbildung 5-2. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise kann in Kapitel 7.1.1 des Zwischenberichtes (SCHUSTER & ULLMANN 2017) nachgelesen werden.

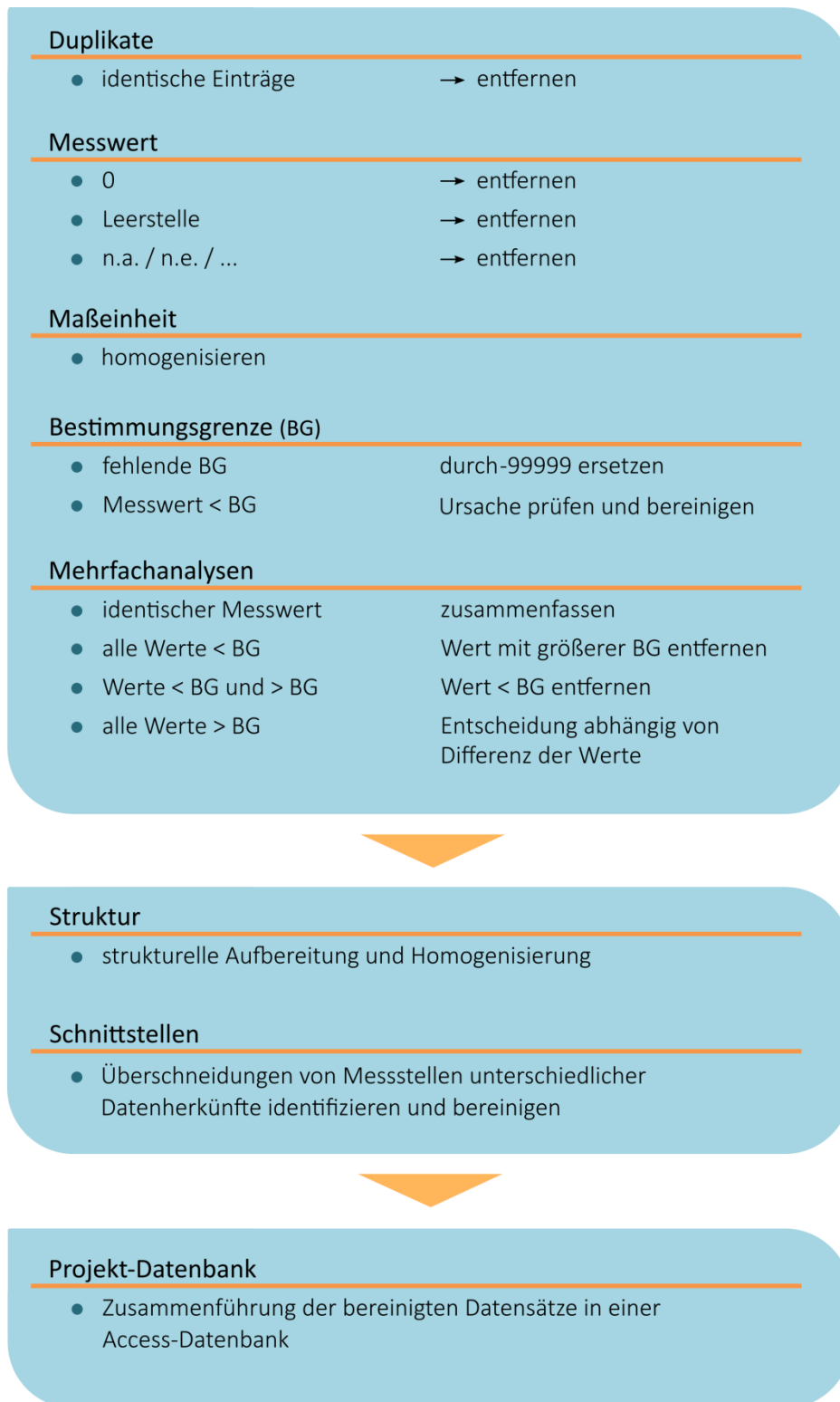


Abb. 5-2: Vereinfachte Darstellung der Bearbeitungsschritte bei der Datenaufbereitung und Homogenisierung

Tabelle 5-5 gibt einen Überblick über die aufbereiteten und zusammengeführten Gewässeranalysen, die für einzelne Untersuchungsparameter vorliegen. Zusätzlich wird der prozentuale Anteil an Messwerten unter der Bestimmungsgrenze (< BG) aufgeführt.

Tab. 5-5: Zusammenstellung der aufbereiteten und aggregierten Gewässer-/Quellanalysen in der Wasserphase (unfiltrierte Probe / Gesamtgehalt) je Untersuchungsparameter

Parameter	Mst.-anzahl	Analysenanzahl	Anteil Analysen < BG [%]
Ag	3 450	39 766	77,6
As	4 825	61 076	33,1
B	5 210	65 769	26,3
Ba	4 361	50 115	0,4
Be	3 379	38 994	79
Cd	16 459	90 220	42,2
Co	14 799	54 649	21,5
Cr	5 783	78 995	61,2
Cu	16 482	89 250	20,7
Fe	5 863	88 652	5,6
Hg	3 696	48 383	82,1
Mn	6 920	117 043	10,7
Mo	4 181	60 673	14,7
Ni	16 395	89 661	28,8
Pb	16 572	91 048	34,6
Se	3 483	39 969	72
SO ₄	6 630	83 750	0,2
Ti	740	8 473	34,1
Tl	3 559	40 625	49,3
U	13 922	48 889	14,7
V	3 507	40 318	26,6
Zn	16 881	98 496	22,1
Summe		1 424 814	

Die Daten der Geochemischen Atlanten wurden auf die Proben innerhalb NRWs reduziert und anschließend an die Struktur der GÜS-Datenbank angepasst. Infolge der heute veralteten Messtechnik, die bei der Beprobungskampagne des Geochemischen Atlas aus 1985 zum Einsatz kam, weisen einzelne Parameter relativ hohe BG auf und sind in diesem Zusammenhang verstärkt mit Ungenauigkeiten belastet. Die Datensätze des Geochemischen Atlas (1985) sind infolgedessen hinsichtlich ihrer Genauigkeit einzustufen und teilweise aus den Auswertungen auszuschließen (vgl. Kap. 8.2.4 Umweltqualitätsnorm).

Insgesamt ist festzuhalten, dass infolge der unterschiedlichen Datenherkunft sowie der breit gefächerten Zeitspanne von Probenahmen qualitative Diskrepanzen zwischen den verschiedenen

Messungen bestehen. Die Anwendung verschiedener analytischer Methoden hat zudem zur Folge, dass einzelne Parametermessungen an verschiedene BG gebunden sind. Zugleich ist von unterschiedlichen Messunsicherheiten der Verfahren auszugehen. In vielen Fällen besteht darüber hinaus keine Kenntnis über die Art der Probenahme oder die Probenbehandlung (Ansäuerung, Dauer bis zur Analyse, Filtration, Filtergröße, ...). Diese Faktoren nehmen ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf das Messergebnis.

Bei der Auswertung der Daten sind diese **Inkonsistenzen** zu berücksichtigen und vor dem Hintergrund der Ergebnisfindung zu vermerken.

5.3 Darstellung der Datenverteilung

Anhand der Abbildungen 5-3 bis 5-6 wird in Übersichtskarten die räumliche Datenverteilung der für das Projekt zur Verfügung stehenden Gütedaten für NRW dargestellt.

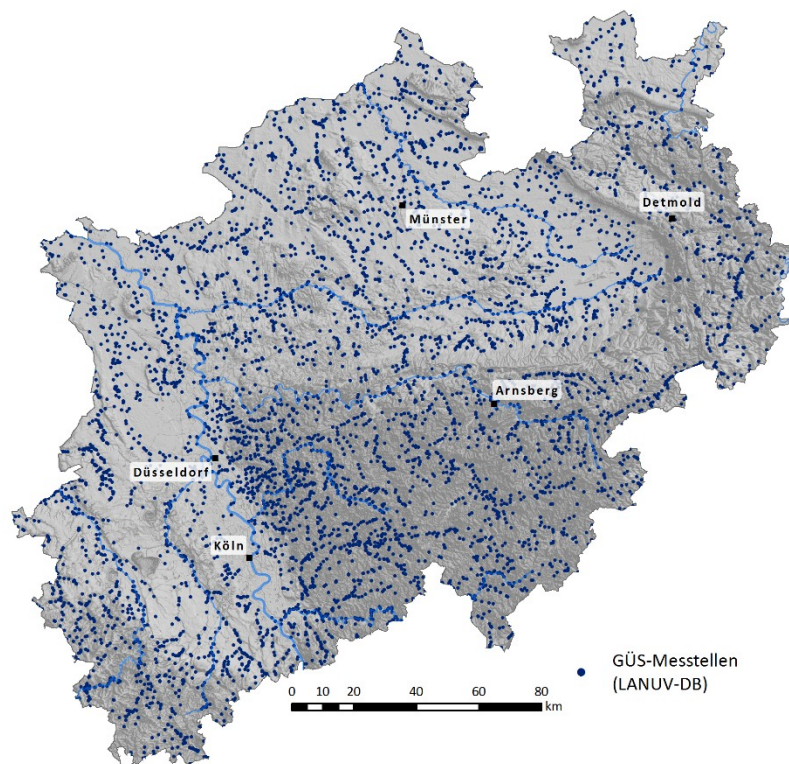


Abb. 5-3: Übersichtskarte der GÜS-Messstellen (LANUV 2017, 2018, 2024) für Nordrhein-Westfalen

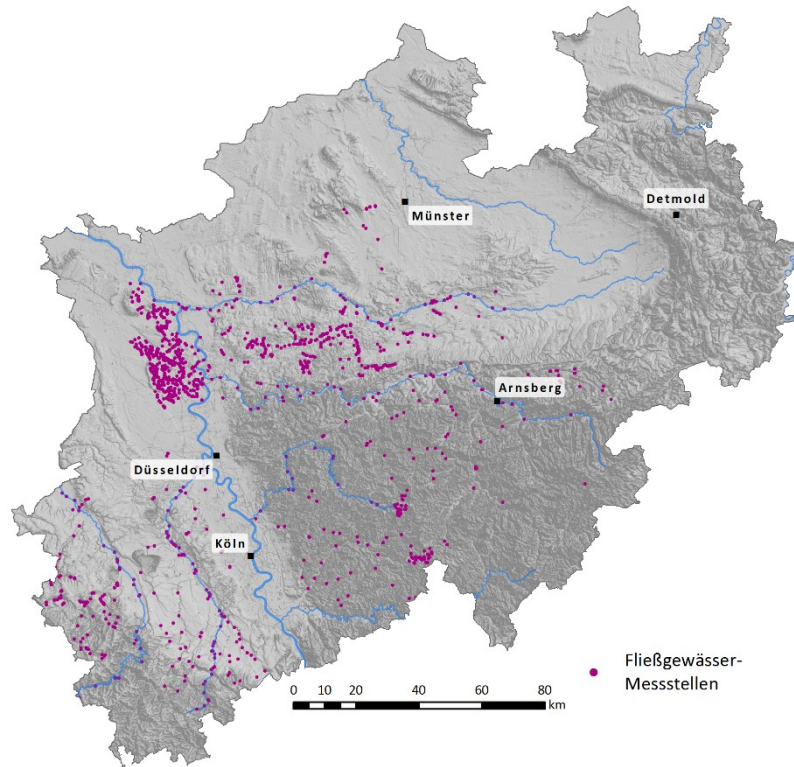


Abb. 5-4: Übersichtskarte der zusätzlich akquirierten Gewässermessstellen (Datenlieferungen der sondergesetzlichen Wasserverbände, enwor GmbH und Städteregion Aachen)

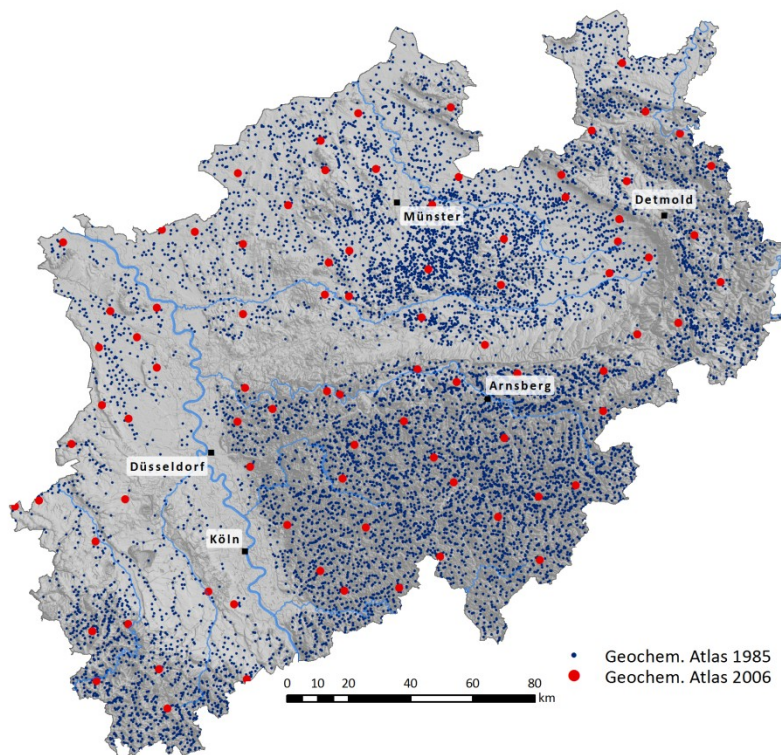


Abb. 5-5: Übersichtskarte der Messpunkte des alten und des neuen Geochemischen Atlas für Nordrhein-Westfalen (Daten aus FAUTH et al. 1985; BIRKE et al. 2006)

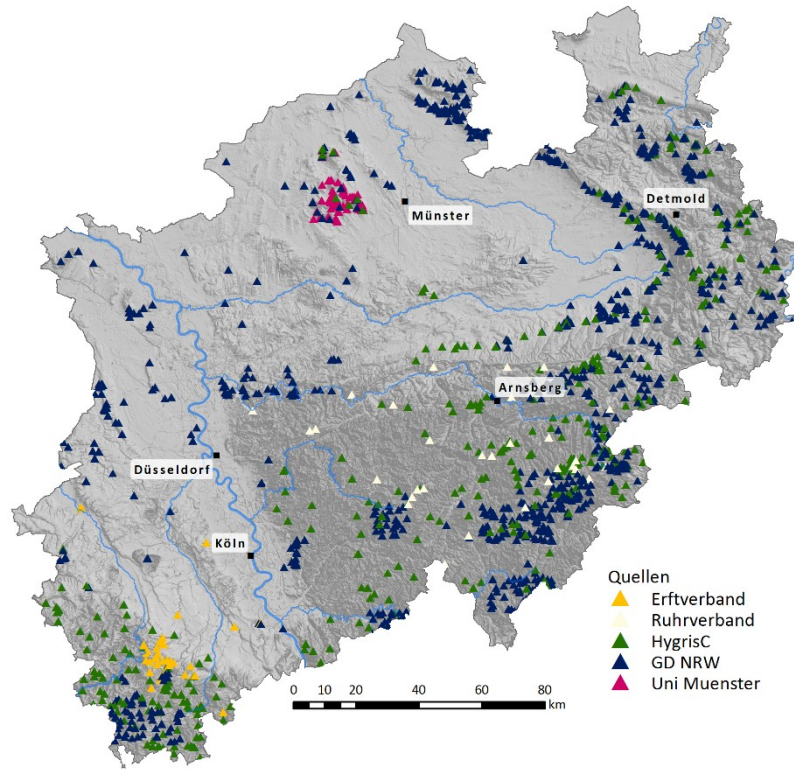


Abb. 5-6: Übersichtskarte über Quellen in Nordrhein-Westfalen (Daten aus HygrisC, GD NRW, Ruhrverband, Erfverband und Uni Münster)

6 Bewertungseinheiten

Artikel 3, Absatz 1 der Richtlinie 2008/105/EG besagt, dass die Anwendung von Umweltqualitätsnormen (UQN) auf Oberflächenwasserkörper (OFWK) erfolgen soll. Damit ermittelte Hintergrundwerte bei der Festlegung abweichender UQN entsprechend Anlage 9 Nummer 3.3 (OGewV 2016) berücksichtigt werden können, sind folglich für jeden Wasserkörper Hintergrundwerte auszuweisen. Dies wird ebenfalls in der Begriffsbestimmung von natürlichen Hintergrundkonzentrationen aufgegriffen, die die OFWK als räumlichen Maßstab nennt (OGewV 2016, § 2 Absatz 7).

Die **Technische Anleitung des LAWA-AO (2015)** zur „Berücksichtigung von natürlichen Hintergrundkonzentrationen [...]“ verweist auf die Vorgaben der OGewV sowie die Notwendigkeit einer möglichst wasserkörperscharfen Ableitung natürlicher Hintergrundkonzentrationen.

Bereits das C&E-Projekt (C&E 2011) hat gezeigt, dass eine wasserkörperscharfe Ermittlung von HGK nur bedingt umsetzbar ist. Im Rahmen einer gesicherten statistischen Auswertung wird eine Mindestanzahl von Eingangsdaten benötigt. Obwohl die Datenbasis für das neue Projektvorhaben verdichtet wurde, ist diese Voraussetzung bei einer räumlichen Begrenzung auf Wasserkörper weiterhin nur in wenigen Einzelfällen gegeben. Darüber hinaus ist eine wasserkörperscharfe, parameterspezifische Auswertung mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden (1 834 FWK, 22 Untersuchungsparameter), der mit der Projektlaufzeit nicht vereinbar ist. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen des Erstprojektes ein Konzept für die Ableitung natürlicher HGK entwickelt, sodass

- a) ausreichend Eingangswerte für eine gesicherte statistische Auswertung vorliegen und
- b) von der Repräsentativität der HGK für den Bewertungsraum und der darin enthaltenen FWK ausgegangen werden kann.

In Kapitel 4.3 wurde aufgezeigt, dass verschiedene Faktoren und komplexe Prozesse Einfluss auf den Metallgehalt eines Gewässers nehmen. Als Ausgangspunkt natürlicher Gehalte kann grundsätzlich aber die chemisch-petrographische Gesteinszusammensetzung angesehen werden. Folglich ist anzunehmen, dass geochemisch homogene Bereiche auch einheitliche Hintergrundkonzentrationen aufweisen (REIMANN & GARRETT 2005; WENDLAND et al. 2008).

Auch der LAWA-AO (2015) hält in diesem Zusammenhang fest, dass sich natürliche Konzentrationen an einer Messstelle aus dem natürlichen Hintergrund in ihrem Einzugsgebiet zusammensetzen. Auswertungen, die auf einem **Zusammenschluss ähnlicher geologischer Einheiten/Formationen** in einem Einzugsgebiet basieren, können somit ebenfalls als repräsentativ angesehen werden (LAWA-AO 2015).

Die Ausarbeitungen des Personenkreises „Hintergrundwerte Grundwasser“ (PK HGW) der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) zur Ermittlung hydrogeochemischer Hintergrundwerte im Grundwasser bauen ebenfalls auf den geologischen Bedingungen auf (WAGNER et al. 2011). Hier wurden die hydrogeologischen Einheiten der Hydrogeologischen Übersichtskarte im Maßstab 1 : 200 000 (HÜK 200) zu weitestgehend homogenen hydrogeochemischen Einheiten zusammengefasst. Die Zusammenstellung

der Einheiten erfolgte nach geologisch-genetischen und hydrogeologischen Kriterien. Innerhalb Deutschlands konnten so 186 Einheiten, sogenannte Hydrogeochemische Einheiten (HGC), mit vergleichbaren geochemischen Eigenschaften abgegrenzt werden. Die Autor*innen halten fest, dass in den definierten Einheiten weiterhin lokale Heterogenitäten, beispielsweise durch lithofazielle Wechsel, bestehen können (WAGNER et al. 2011). Die Ausarbeitung der Hintergrundwerte hat dennoch gezeigt, dass die HGC belastbare Ergebnisse liefern.

Aus diesem Grund wurden die ermittelten HGC auch für das Projektvorhaben zur Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern herangezogen. Um die HGC entsprechend der Vorgaben des LAWA-AO (2015) anzupassen, wurden sie zusätzlich mit den Teileinzugsgebieten (TEZG) der Oberflächengewässer verschnitten (Abb. 6-1). Auf diese Weise werden geochemische Eigenschaften des Untergrundes mit hydrologischen Kriterien kombiniert. In NRW werden 26 TEZG voneinander

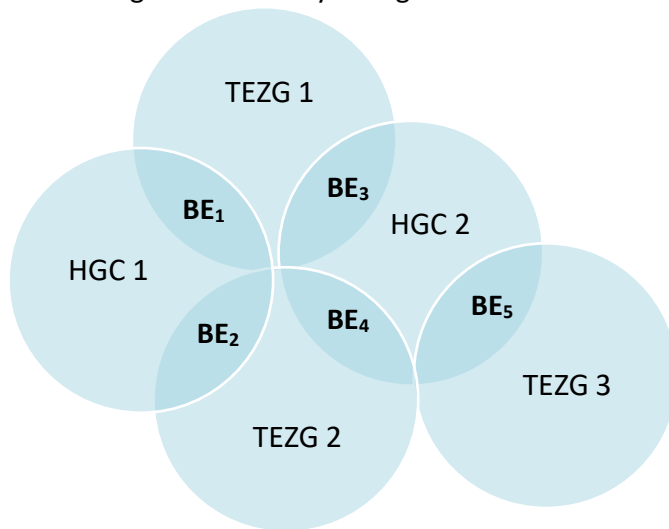


Abb. 6-1: Schematischer Verschnitt der Teileinzugsgebiete mit Hydrogeochemischen Einheiten zu Bewertungseinheiten

unterschieden und ca. 60 HGC fallen in die Landesfläche. Durch den Verschnitt beider Geometrien entstehen rund 300 Bewertungseinheiten (BE), die als (quasi-)homogene Flächen angesehen werden (Abb. 6-2).

Lokale Testauswertungen zur **Überprüfung und Validierung der BE** bestätigten beispielhaft, dass innerhalb der definierten Grenzen von einem einheitlichen geochemischen Hintergrund ausgegangen werden kann. Die BE, die durch den Verschnitt der HGC mit den TEZG entstehen, bilden somit eine valide LAWA-konforme Auswertungsgrundlage für das Projektvorhaben. Basierend auf den Ausarbeitungen wurde die Anwendung der BE im projektbegleitenden Arbeitskreis beschlossen.

Die entsprechenden Testauswertungen und Ergebnisse sind im Detail im Zwischenbericht (SCHUSTER & ULLMANN 2017) dokumentiert sowie dem vorliegenden Gutachten in Kapitel 35.3 angehängt.

Für die erarbeiteten BE sind die natürlichen Hintergrundkonzentrationen zu ermitteln. Dabei ist festzuhalten, dass BE mit einer Fläche kleiner 1 km² die Gewässerchemie nur unwesentlich beeinflussen (GREIF & KLEMM 2010) und aus diesem Grund nicht in den Auswertungen berücksichtigt werden. Zugleich kann es in Fällen lokaler geologischer oder hydrogeologischer Besonderheiten (z. B. Vererzungszonen, Aufstieg von Tiefenwässern) erforderlich sein, die BE weiter zu differenzieren, um die geogene Anomalie realitätsnah abzubilden bzw. korrekt zu erfassen. Wie dies im Rahmen der Auswertungen umgesetzt wird, wird in Kapitel 10 näher erläutert.

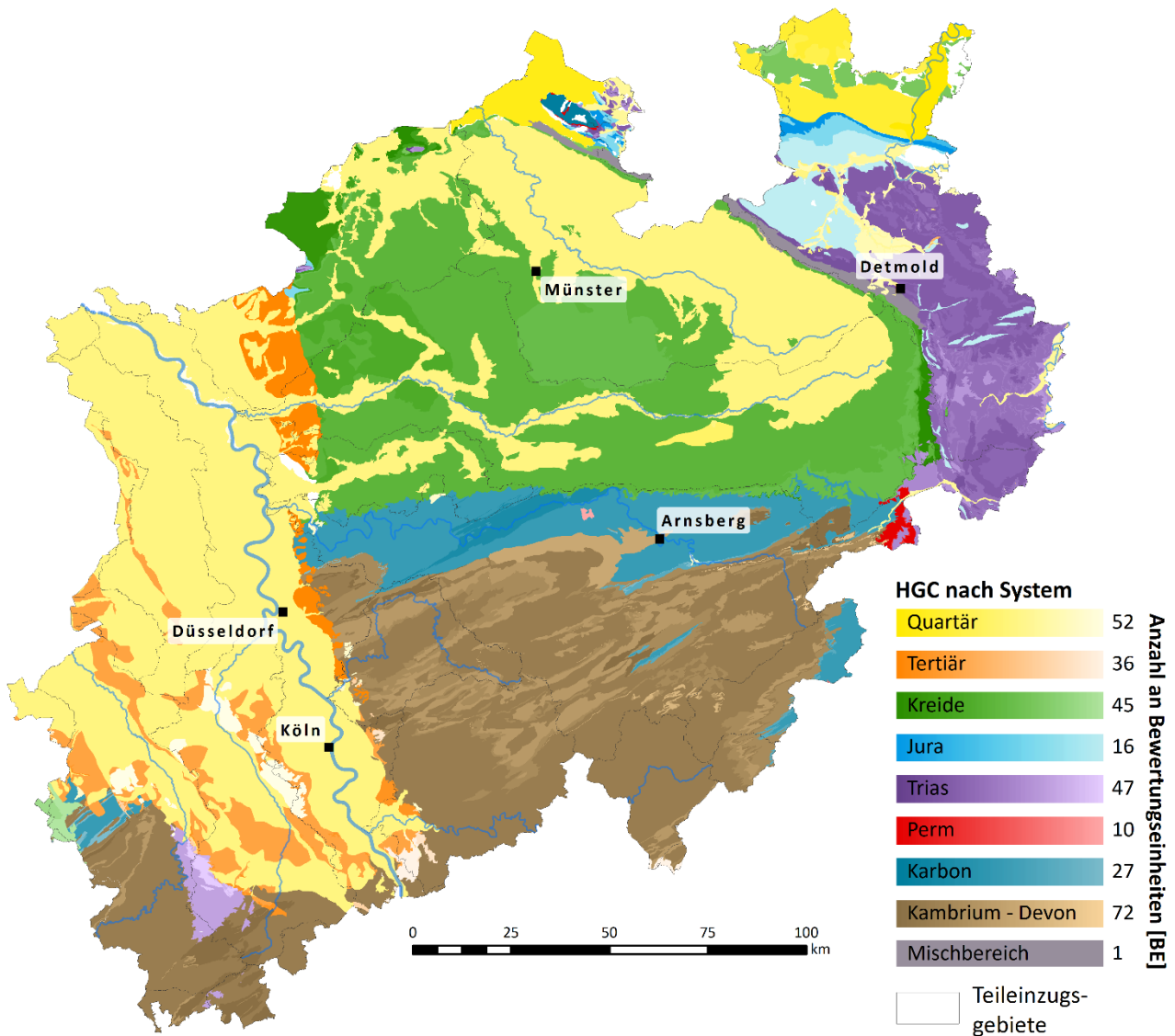


Abb. 6-2: Übersichtskarte über die Bewertungseinheiten – farblich differenziert nach zugehörigem System und mit Angabe der BE-Anzahl

Die vorgestellte Vorgehensweise zur Abgrenzung von BE ist konsistent zu der bei der Ermittlung von Hintergrundwerten im Grundwasser angewandten Systematik. Somit ist ein qualitativer Vergleich der Ergebnisse im Grundwasser und in den Oberflächengewässern möglich.

7 Zusatzbeprobung

Um möglichst repräsentative und gesicherte Hintergrundwerte ermitteln zu können, ist eine Mindestanzahl von zehn Messstellen in jeder BE anzustreben. Im Idealfall liegt eine einheitliche und regelmäßige Belegungsdichte vor. Eine Zuordnung der vorliegenden Messstellen zu den BE zeigte, dass die Belegungsdichte deutlich variiert und die Mindestanzahl an Eingangsdaten nicht in jeder BE erfüllt ist. Um dennoch eine möglichst vollständige Auswertung zu gewährleisten, wurden im Rahmen des Erstprojektes durch den Projektnehmer zusätzlich zum regulären Monitoring 458 Messstellen mit Fokus auf die Untersuchungsparameter bestimmt.

Das umfassende Beprobungs- und Untersuchungsprogramm wurde von September 2017 bis Juni 2018 durch das LANUV durchgeführt. Dabei wurden 291 bestehende Messstellen (davon 19 Quellen) ausgewählt, an denen für die Bestandsparameter bislang keine Analysen vorlagen. Ergänzend wurden 167 Messstellen neu angelegt. Bei der Positionierung der neuen Messstellen waren verschiedene Kriterien zu berücksichtigen. Zum einen waren möglichst anthropogen unbeeinflusste Bereiche auszuwählen, zum anderen mussten diese für die Probennehmer inklusive des Equipments erreichbar sein, sodass eine gewisse Infrastruktur Voraussetzung war. Zudem liefert eine GIS-basierte Auswahl der Beprobungspunkte nur einen begrenzten Einblick in die Situation vor Ort. So erwiesen sich 20 Messstellen als unzugänglich für die Probenahme (z. B. aufgrund der Besitzverhältnisse, Witterung, Vegetation). Auch lagen keine Informationen bezüglich des Abflusses in den anvisierten, meist kleinen Gewässern (v. a. Oberläufe) vor, sodass diese an 56 Messstellen zum geplanten Beprobungszeitpunkt kein Wasser führten. In der Summe konnte an 382 Punkten beprobt werden.

Eine Auflistung der neu angelegten Messstellen ist im Anhang unter Kapitel 35.4 angefügt. Tabelle 7-1 gibt einen Überblick über die Messstellenanzahl der Beprobungskampagne. In Abbildung 7-1 wird eine räumliche Übersicht über die Zusatzbeprobung gegeben. Bei der Auswahl und Anzahl der zusätzlichen Beprobungspunkte handelte es sich um den minimal notwendigen Umfang. Da die Beprobungskampagne als Teil des Erstprojektes durchgeführt wurde, wurden zum damaligen Zeitpunkt keine Messwerte für Mangan, Molybdän und Titan aufgenommen. Eine erneute Beprobung ist an den neu angelegten Messstellen nicht erfolgt.

Tab. 7-1: Übersicht über die Anzahl der zusätzlich beprobten Messstellen

	bestehende Messstellen	neu angelegte Messstellen	Summe
beprobt	263	119	382
kein Zugang	13	7	20
kein Wasser	15	41	56
Summe	291	167	458

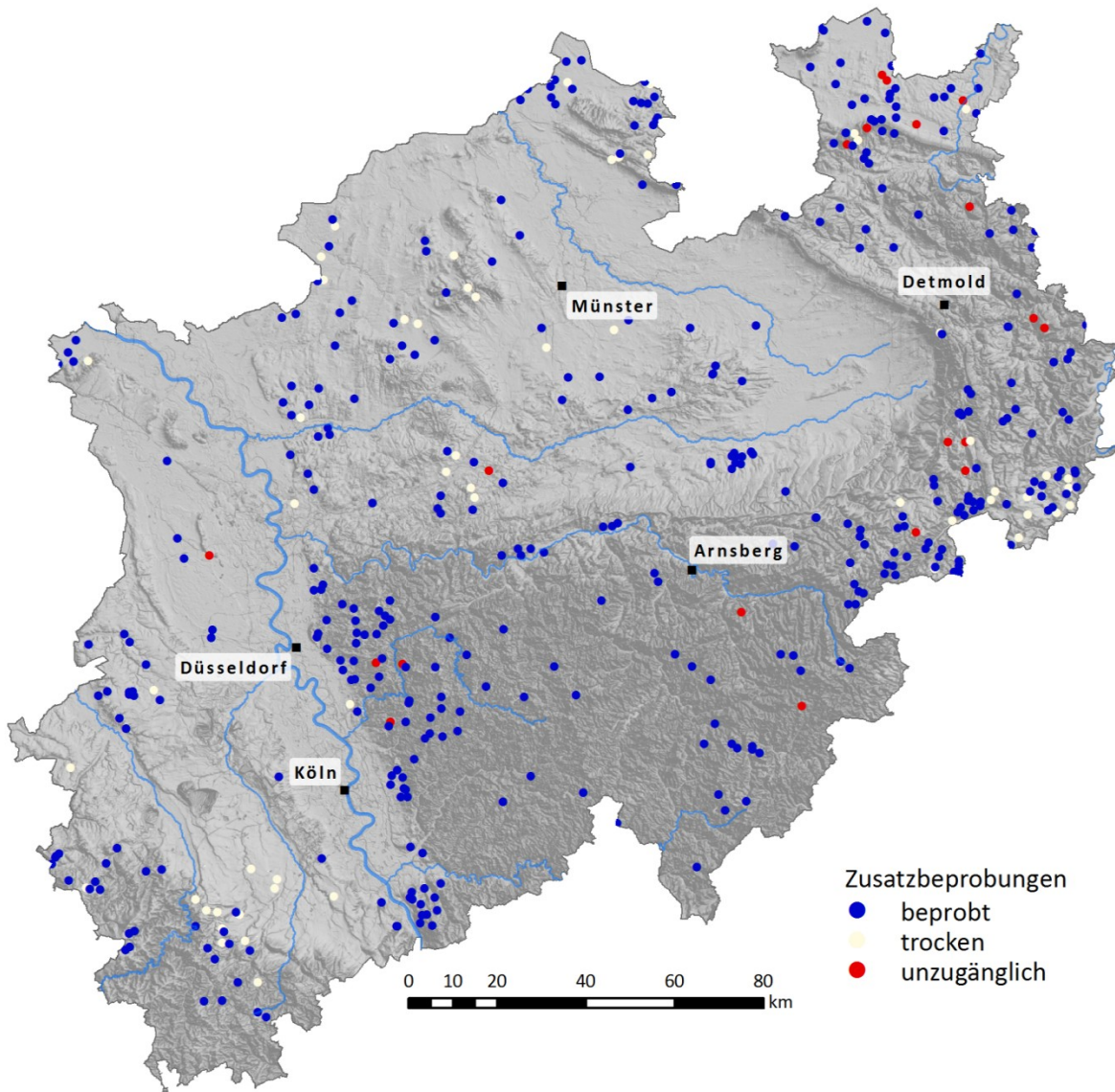


Abb. 7-1: Übersicht über die zusätzlichen Beprobungspunkte

8 Methodik

Für die Methodenauswahl zur Ermittlung natürlicher Hintergrundwerte in Oberflächengewässern existieren keine rechtlich bindenden und einheitlichen Vorgaben. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Erstprojektes eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt, um Vorgehensweisen vorhandener Studien zu ermitteln und daraus für das Projektvorhaben eine geeignete Herangehensweise zu entwickeln.

Zahlreiche Auswerteverfahren fanden in der Vergangenheit Verwendung für die Ableitung von Hintergrundwerten; jedoch haben sich nicht alle als zielführend erwiesen oder sind für die Anwendung auf Gütedaten aus Oberflächengewässern geeignet. Auch der LAWA-AO verweist in ihrer Technischen Anleitung (LAWA-AO 2015) auf eine Auswahl bereits vorhandener Studien zu Hintergrundwerten in Oberflächengewässern. Die dort empfohlene Methode (Verfahren nach SCHLEYER & KERNDORFF 1992) kam in dem 2011 abgeschlossenen C&E-Projekt „Natürliche Hintergrundbelastung von Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen mit Schwermetallen“ zum Einsatz. Das Verfahren wurde bei der Methodenauswahl ebenfalls berücksichtigt und seine Anwendbarkeit für das Projektvorhaben evaluiert.

Grundsätzlich lassen sich die in der Literatur beschriebenen Auswertungsmethoden in drei verschiedene Typen untergliedern: direkte, indirekte und integrierte Methoden (GALUSZKA & MIGASZEWSKI 2011; GALUSZKA 2007).

Direkte Methoden stützen sich auf Eingangsdaten, die aus anthropogen unbelasteten Bereichen stammen. Da in diesen Fällen bei den gemessenen Konzentrationen von natürlichen Werten ausgegangen werden kann, bedarf es keiner umfassenden Bearbeitung der Daten. Als Hintergrundwert wird direkt der Median oder Mittelwert der Konzentrationsspanne angesetzt (GALUSZKA & MIGASZEWSKI 2011; GALUSZKA 2007).

Häufigere Anwendung finden indirekte (statistische) Methoden, die vielseitige Möglichkeiten der Darstellung und Auswertung bieten. Drei Verfahren – explizit für die Ermittlung natürlicher Hintergrundwerte entwickelt – wurden auch für das Projektvorhaben favorisiert und einer näheren Prüfung unterzogen: das Verfahren nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992), die Komponentenseparation (KUNKEL et al. 2004) und Wahrscheinlichkeitsnetze (LEPELTIER 1969; WALTER 2008). Alle drei Verfahren stützen sich auf die Häufigkeitsverteilung eines Parameters und die Ermittlung statistischer Kennwerte.

Integrierte Methoden beschreiben eine Kombination aus direkten und indirekten Auswerteverfahren (GALUSZKA 2007). Folglich werden möglichst anthropogen unbeeinflusste Messwerte akquiriert und schließlich mittels statistischer Verfahren ausgewertet.

Der LAWA-AO (2015) empfiehlt die Anwendung eines statistischen Verfahrens zur Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen. Im Rahmen des Projektes wurde der statistischen Auswertung zusätzlich eine Präselektion (Kap. 8.2) vorgeschaltet, um ungeeignete Eingangsdaten bereits im Voraus von der Auswertung auszuschließen. Damit wurde letztendlich ein integriertes (ganzheitliches) Verfahren angestrebt.

Die drei präferierten statistischen Verfahren – SCHLEYER & KERNDORFF (1992), Komponentenseparation (KUNKEL et al. 2004), Wahrscheinlichkeitsnetze (LEPELTIER 1969; WALTER 2008) – wurden hinsichtlich ihrer Funktionsweise intensiv untersucht und bezüglich ihrer Eignung bzw. Anwendbarkeit abgeschätzt.

Unter Berücksichtigung der Handhabung, Transparenz und Flexibilität wurde das Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze für die Ermittlung der natürlichen Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern NRW ausgewählt. Ergebnisse der Recherche sowie detaillierte Ausführungen zu Vor- und Nachteilen der verschiedenen Methoden werden ausführlich im Zwischenbericht des Erstprojektes (SCHUSTER & ULLMANN 2017: Kap. 6) erörtert und sind dem Gutachten im Anhang als Kapitel 35.5 beigefügt. Im folgenden Kapitel wird ausschließlich auf das für das Projekt ausgewählte statistische Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze eingegangen.

8.1 Wahrscheinlichkeitsnetze (Auswerteverfahren)

(nach LEPELTIER 1969, weiterentwickelt durch WALTER 2008)

Im Zusammenhang mit dem Explorationsprogramm der UN in Guatemala wurde durch LEPELTIER (1969) ein Verfahren recherchiert, welches mit einer großen Anzahl numerischer Daten umgehen und wesentliche Informationen extrahieren kann. LEPELTIER (1969) griff dabei das Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze auf. Basierend auf 25 000 geochemischen Datensätzen wurde die Methode 1967 erprobt.

Die Auswertung mittels Wahrscheinlichkeitsnetzen beschreibt ein einfaches graphisches Verfahren, welches auf der Verteilung einer Zufallsvariable aufbaut. Dabei werden die Messwerte zunächst in Klassen untergliedert und in einem Histogramm dargestellt (Abb. 8-1, links). Anschließend folgt die Darstellung der kumulativen Häufigkeiten (Abb. 8-1, Mitte) sowie ein Übertrag der Summenprozentage in ein Wahrscheinlichkeitsnetz (Abb. 8-1, rechts).

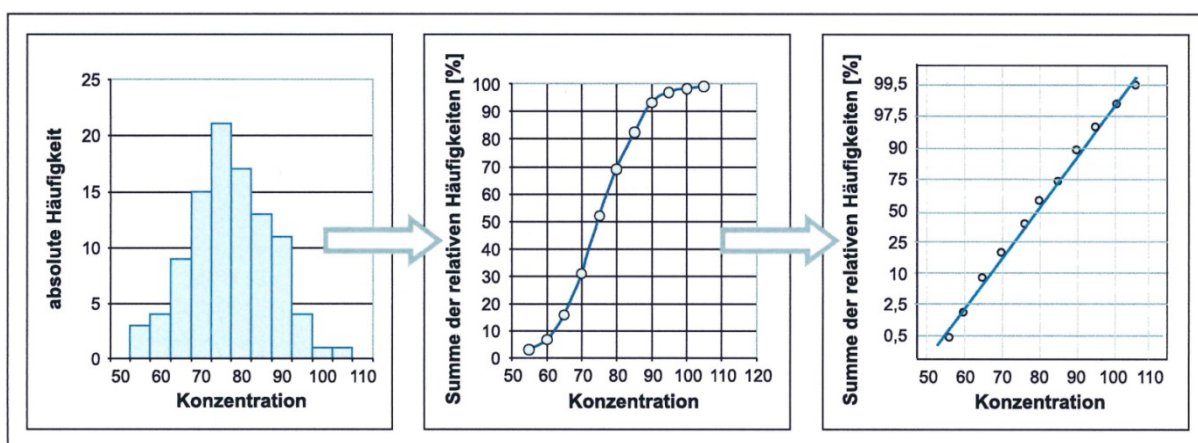


Abb. 8-1: Vom Histogramm (links) über die Summenkurve (Mitte) zum Wahrscheinlichkeitsnetz (rechts) (WAGNER et al. 2011 nach DIN 53804-1 (2002))

Im Wahrscheinlichkeitsnetz wird die Ordinate nach der integrierten Normalverteilung berechnet:

(Gleichung 3)
$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Die Messwertachse ist im Falle einer Normalverteilung linear einzuteilen. Eine lognormale Verteilung setzt eine logarithmische Skalierung der Abszisse voraus (PK HGW 2014).

Gehören die Messwerte einer gemeinsamen Population an, folgen sie einem einheitlichen Verteilungsgesetz (d. h. sie entspringen einem einheitlichen geochemischen Hintergrund). Durch die Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz liegen entsprechend normal- bzw. lognormalverteilte Datenkollektive auf einer Geraden. Stammen die Messungen aus geochemisch unterschiedlichen Bereichen oder beinhalten Anomalien, lässt die Darstellung innerhalb des Wahrscheinlichkeitsnetzes keine einfache Geradenanpassung zu. Hier trennen Knickpunkte einzelne Geradenabschnitte voneinander ab, welche die unterschiedlichen Teilpopulationen repräsentieren (WAGNER et al. 2011).

Abbildung 8-2 zeigt beispielhaft eine Darstellung des Wahrscheinlichkeitsnetzes, in dem der Datensatz zwei Teilgeraden bildet und somit aus zwei Teilpopulationen besteht.

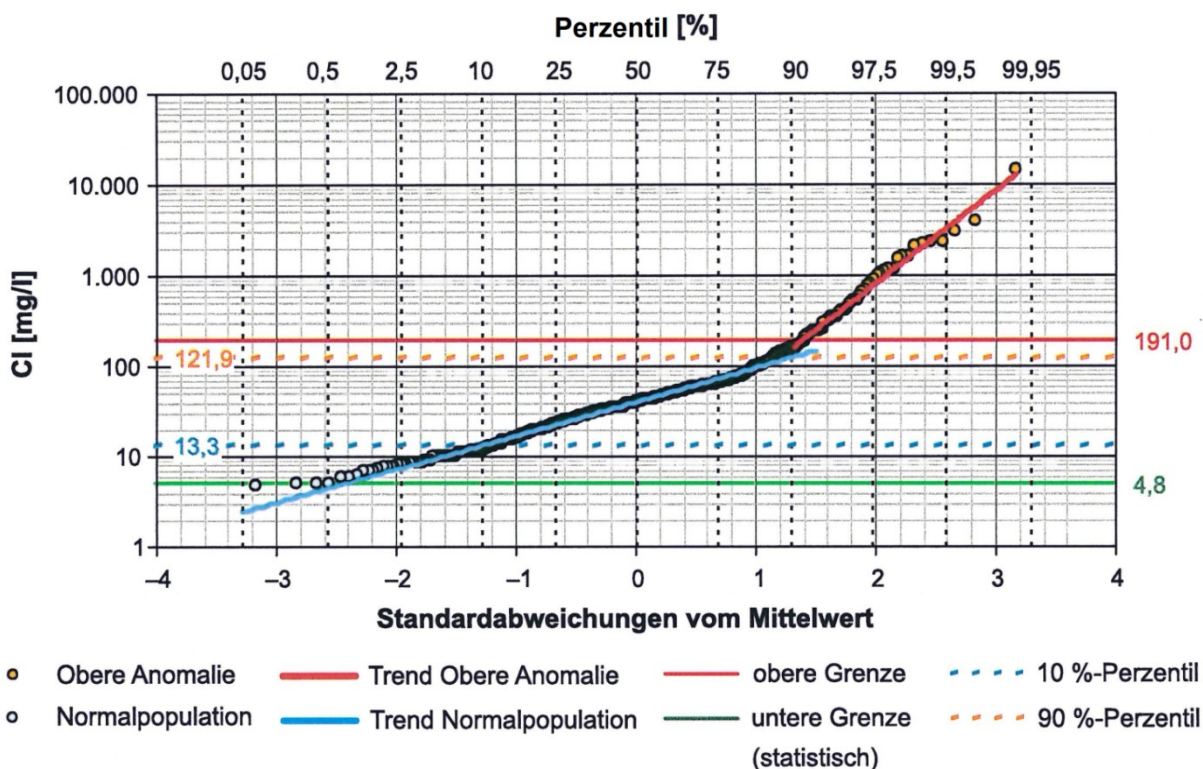


Abb. 8-2: Beispiel – Verteilung von Chloridgehalten im Grundwasserkörper 01R13b (Mitteldeutsche Urstrom- und Nebentäler; verändert nach WAGNER et al. 2011)

Für eine bessere Visualisierung der Ergebnisse wurden in der Darstellung die Achsen vertauscht und die Information der Standardabweichung vom Mittelwert auf der unteren Abszisse ergänzt. Um den natürlichen Hintergrund für diesen Datensatz zu ermitteln, ist die Anomalie (rote Gerade) von der Normalpopulation (blaue Gerade) abzutrennen. Aus den ermittelten Teilgeraden können Basisparameter, wie der Median, die Standardabweichung (entspricht der Steigung der Geraden), der Variationskoeffizient oder die obere Grenze der Population (Schwellenwert), ausgelesen werden. Der Hintergrundwert der Normalpopulation wird anhand eines Perzentilwertes (z. B. 50./90./95.) abgeleitet.

Folglich kann anhand der Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz unmittelbar eine Aussage über die Heterogenität der Eingangsdaten sowie das natürlich bedingte Konzentrationsspektrum getroffen werden (WAGNER et al. 2011).

Weiterführend kann auch eine Darstellung verschiedener stoffspezifischer Verteilungen in einem Wahrscheinlichkeitsnetz erfolgen. Die direkte Gegenüberstellung der Geradenverläufe ermöglicht einen unmittelbaren Vergleich einzelner Parameter sowie eine Überprüfung auf mögliche stoffliche Zusammenhänge (Korrelationen).

Bei der Auswahl der Eingangsdaten ist darauf zu achten, dass sie möglichst umfassend und zugleich homogen aufgebaut sind. LEPELTIER (1969) nennt ein Minimum von 50 Eingangswerten und eine Klassenanzahl zwischen 9 und 19 als Voraussetzung für die Bildung einer aussagekräftigen Summenkurve.

Im Zusammenhang mit dem Projekt zur Ermittlung natürlicher Hintergrundwerte im Grundwasser, welches durch den PK HGW der SGD bearbeitet wurde, wurde das Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze von LEPELTIER (1969) aufgegriffen und weiterentwickelt (WALTER et al. 2012).

Die Entwicklung einer Excel-Anwendung (Programm ‚Probnet‘) durch Thomas Walter (MUV – Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz Saarland; WALTER 2008) erlaubt eine effiziente und anschauliche Arbeit mit Wahrscheinlichkeitsnetzen. Die Verteilungsform eines Datensatzes wird innerhalb des Programmes automatisch mittels des d’Agostino-Pearson-Tests auf Normal- oder Lognormalverteilung überprüft und die graphische Darstellung entsprechend angepasst. Die Güte der Anpassung wird durch eine Korrelationsanalyse nach RYAN & JOINER (1976) kontrolliert.

Eine klassische Auswertung mittels Wahrscheinlichkeitsnetzen baut auf einer Gruppierung der Messwerte in Klassen und der Erstellung von Histogrammen auf. Die Klassenbildung bedingt dabei eine Reduktion der Datenanzahl, die effektiv in die Auswertung einfließt (ein Datenpunkt pro Klasse). Auf eine entsprechende Zusammenführung der Daten in einem Histogramm wird in der neuen Programm-entwicklung verzichtet, sodass keine Reduktion der Eingangsdaten erfolgt. Die Ad-hoc-Kleingruppe „Hydrogeochemische Hintergrundwerte in Grundwässern“ (BERGMANN et al. 2015) argumentiert, dass aus diesem Grund für die Neuentwicklung des Verfahrens ein minimaler Datensatz von zehn Messwerten pro Auswertung ausreichend ist. Die Messwerte müssen dabei Teil der Normalpopulation sein und oberhalb der Bestimmungsgrenze (BG) liegen.

Bei der Untersuchung von Spurenstoffen, wie die zu untersuchenden Halb- und Schwermetalle, treten häufig geringe Konzentrationen auf, die unterhalb der jeweiligen BG liegen. In der Praxis werden die entsprechenden Messwerte unterhalb der BG häufig durch absolute Werte (z. B. BG, $\frac{2}{3}$ der BG oder $\frac{1}{2}$ der BG) substituiert. Die tatsächliche Konzentration des betrachteten Stoffes kann jedoch überall zwischen 0 und der BG liegen, sodass die Substitute den auszuwertenden Datensatz zensieren und somit auch das Ergebnis der Auswertung verfälschen können. Erfolgt eine Auswertung in Wahrscheinlichkeitsnetzen, ist es nicht erforderlich, **Werte unterhalb der BG** durch einen generischen Messwert zu ersetzen. Ist die Normalpopulation im Wahrscheinlichkeitsnetz identifiziert, wird über einen Regressionsansatz die Gerade bis in den Konzentrationsbereich unterhalb der BG extrapoliert. Auf diese Weise fließen die Analysen unterhalb der BG ebenfalls zahlenmäßig (aber nicht wertmäßig) in die Auswertung mit ein, ohne den Geradenverlauf und somit die Ermittlung der statistischen Kennwerte unzulässig zu verändern.

Die Ausarbeitung der Normalpopulation erfolgt mittels ‚Probnets‘ semiautomatisch durch den Bearbeiter/die Bearbeiterin. Dabei werden Knickpunkte in der Verteilung herausgearbeitet und anomale Randbereiche nach fachlichen Kriterien entfernt.

2016 wurde das entwickelte Verfahren zur Ermittlung von Hintergrundwerten im Grundwasser in die Vorgaben zur Änderung der neuen Grundwasserverordnung (GrwV 2016) übernommen.

Fazit

Wahrscheinlichkeitsnetze erlauben nicht nur den Umgang mit kleinen Datensätzen, sondern ebenso eine Berücksichtigung von Werten unterhalb der BG. Dabei können individuell durch den Bearbeiter/die Bearbeiterin Anpassungen der Auswertung vorgenommen werden und so auch Randinformationen in die Ergebnisfindung einfließen.

Tab. 8-1: Tabellarische Übersicht über Anforderungen und Möglichkeiten von Wahrscheinlichkeitsnetzen als statistisches Verfahren zur Ermittlung von Hintergrundwerten

	Wahrscheinlichkeitsnetze
natürlicher Hintergrund	ja
Verteilungsform	lognormal, normal
Mindestanzahl Werte	10
Präselektion erforderlich	(ja)
Beeinflussung durch Werte < BG	nein
Anwendbarkeit/Handhabbarkeit	mittel
Empfindlichkeit bei Inhomogenität des Datensatzes	mittel
individuelle Identifizierung von Anomalien möglich	ja
nachträgliche Anpassung durch Bearbeiter*in möglich	ja

Zwar sind auch bei einer statistischen Auswertung mit Wahrscheinlichkeitsnetzen die Bewertungseinheiten möglichst geochemisch homogen zu wählen, Abweichungen von der Normalpopulation lassen sich aber deutlich identifizieren und abtrennen. So bilden unterschiedliche Teilpopulationen eigenständige Geradenabschnitte mit abweichender Steigung. Die erfassten Teilpopulationen können sowohl anthropogen als auch geogen bedingt sein.

Durch die Erstellung eines Lagebezuges zwischen den Konzentrationsspannen einzelner Geradenabschnitte/Teilpopulationen im Wahrscheinlichkeitsnetz kann der Ursprung der Teilpopulationen näher untersucht werden. So kann anhand einer räumlichen Darstellung der betroffenen Messstellen im GIS kontrolliert werden, ob die Messpunkte, die die Teilpopulation bilden, räumlich korrelieren und gegebenenfalls an eine konkrete lokale Ursache (z. B. Abwassereinleitung oder Lagerstätte) geknüpft sind.

Während geogen bedingte Anomalien in der Auswertung verbleiben, können auf diese Weise anthropogen verursachte Anomalien als eigenständige Teilpopulation im Netz erfasst und abgetrennt werden, sodass eine Präselektion der Eingangsdaten nicht verpflichtend ist. Um die Anzahl der dargestellten Teilpopulationen zu reduzieren und somit die Übersichtlichkeit der Auswertung zu verbessern, wurde im Rahmen des Projektvorhabens dennoch eine Präselektion hinsichtlich der anthropogenen Beeinflussung der Eingangsdaten vorgenommen.

8.2 Präselektion

Kritiker bemängeln, dass statistische Auswertungen natürliche Prozesse und Wirkungsbeziehungen nicht ausreichend berücksichtigen (GALUSZKA & MIGASZEWSKI 2011). Zudem existieren zur heutigen Zeit keine rein natürlichen Gebiete mehr. Aufgenommene Messwerte beinhalten infolgedessen immer auch eine unbestimmte ubiquitäre Komponente, die häufig anthropogen bedingt ist (z. B. Immissionsbelastung durch Abgase/Verbrennungsprozesse, landwirtschaftliche Einträge). Bei der Verwendung von Monitoringdaten ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass das Messnetz aufgebaut wurde, um den IST-Zustand der Gewässer zu erfassen. Das heißt, es werden vorwiegend Bereiche beprobt, die hinsichtlich ihrer stofflichen Belastungen als möglichst repräsentativ für den Wasserkörper anzusehen sind. Die Untersuchung von möglichst natürlichen, anthropogen unbeeinflussten Gebieten (beispielsweise anzunehmen in Quellbereichen) wird in diesem Zusammenhang nicht forciert. Folglich ist davon auszugehen, dass die GÜS-Messungen verstärkt auch anthropogen veränderte Konzentrationen erfassen. Auch GREIF & KLEMM (2010) weisen auf diesen Aspekt hin.

Aus diesem Grund folgt die projektbezogene Auswertung dem Prinzip einer integrierten (ganzheitlichen) Methode. Hierbei wird die statistische Auswertung durch eine Präselektion unterstützt, mittels derer ungeeignete/stark beeinflusste Messwerte bereits aus dem Datenkollektiv entfernt werden.

Prinzip

Eine Präselektion von Daten basiert auf dem Grundgedanken, dass gewisse Faktoren (chemisch, physikalisch, physisch) indikativ für anthropogene Einflüsse sind, sodass diese wiederum anhand von definierten Kriterien identifiziert werden können. Dabei ist die Qualität der Selektion abhängig von den gesetzten Ausschlusskriterien, welche meist subjektiv für die jeweilige Anwendung formuliert werden.

Für die Ermittlung natürlicher Hintergrundwerte dient die Präselektion einer ersten Trennung von natürlichen und anthropogen beeinflussten Daten. Wie in Kapitel 8.1 erwähnt, ist eine Präselektion im Rahmen der Auswertung mit Wahrscheinlichkeitsnetzen zwar nicht zwingend erforderlich, wird aber zur Verbesserung der Übersichtlichkeit empfohlen und aus diesem Grund auch im Rahmen der Projektuntersuchungen angestrebt. Gleichzeitig ist zu beachten, dass die Datenbasis durch die gesetzten Kriterien nicht zu stark reduziert werden darf. Ein Ausschluss geeigneter Messstellen ist möglichst zu vermeiden. Aspekte, die im Rahmen der Vorauswahl nicht erfasst wurden, können auch nachträglich im Wahrscheinlichkeitsnetz identifiziert und separiert werden. Zudem ermöglicht die neue Verfahrensentwicklung, an dieser Stelle auch fachliche Kenntnisse in die Auswertung und Ausschlüsse mit einfließen zu lassen.

Es gibt eine Vielzahl von Ansätzen, auf denen die Präselektion aufbauen kann. Durch C&E (2011) wurden bereits verschiedene Faktoren genannt, die zu einem Ausschluss von Daten herangezogen werden können. Dazu gehören unter anderem eine geschlossene Bebauung, Siedlungsnähe, Vorhandensein von Industrie/Gewerbe oder Messstellen unterhalb von Staubecken oder Kläranlagen (KA). Allerdings werden die einzelnen Kriterien innerhalb des Abschlussberichtes (C&E 2011) nur qualitativ aufgelistet und nicht quantifiziert, sodass die Anwendung der Ausschlusskriterien nicht im Detail nachvollzogen oder reproduziert werden kann.

In Absprache mit dem MULNV und dem LANUV sowie dem begleitenden Arbeitskreis wurde aus diesem Grund bereits anlässlich des Erstprojektes eine andere Herangehensweise entwickelt. Dabei wurden konkrete quantitative Ausschlusskriterien aufgestellt und hinsichtlich ihrer Praktikabilität geprüft.

Ausschlusskriterien

Im Rahmen der Präselektion wurde ein gestufter Ansatz eingesetzt, bei dem verschiedene Ausschlusskriterien sukzessiv angewendet und bereits bestehende Bewertungssysteme genutzt werden. Insgesamt werden dabei sechs Selektionsstufen betrachtet, die sich sowohl auf die BE sowie die Messstellen oder auch die konkreten Analysen beziehen und so zu generellen oder auch nur parameterspezifischen Ausschlüssen führen können (Abb. 8-3):

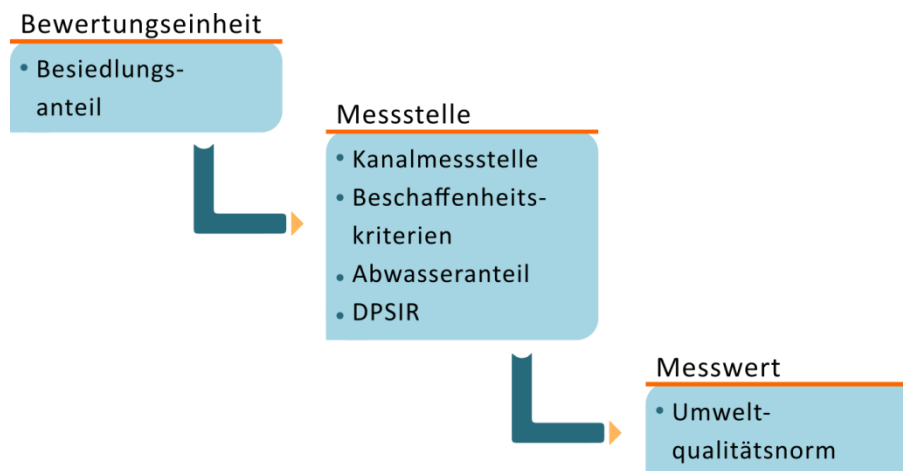


Abb. 8-3: Schematische Darstellung der Präselektionsstufen

In den folgenden Unterkapiteln werden die gesetzten Kriterien definiert und erläutert, inwieweit sie im Rahmen des Projektvorhabens Anwendung finden.

8.2.1 Besiedlungsanteil

Um für eine BE natürliche Hintergrundkonzentrationen ermitteln zu können, muss diese gewisse Anforderungen erfüllen. So erfolgt die Abgrenzung der BE nach geologisch/hydrologischen Kriterien, die Landnutzung nimmt aber keinen Einfluss auf die Unterteilung. Grundsätzlich ermöglicht die statistische Auswertung mittels Wahrscheinlichkeitsnetzen zwar anthropogene Anomalien in den Eingangsdaten zu identifizieren und abzutrennen, Voraussetzung hierfür ist aber, dass auch Messstellen in die Auswertung einfließen, die repräsentativ für die Normalpopulation (also den Hintergrund) sind. Es wurde festgelegt, dass ab einem Besiedlungsanteil von 80 % diese Voraussetzung in einer **BE** nicht mehr gegeben ist und keine Auswertung der BE erfolgen sollte. Liegt der Besiedlungsanteil über 50 %, entscheidet die Lage der Messstellen gegenüber bekannten anthropogenen Einflüssen über die Auswertbarkeit der BE. Befinden sich beispielsweise bis zu fünf Messstellen oberhalb (oh) von Kläranlagen-Einleitungen, wird weiterhin eine Auswertung angestrebt. Liegen weniger als fünf Messstellen außerhalb einer Beeinflussung durch Kläranlagen, erfolgt keine Auswertung.

8.2.2 Kanalmessstellen

Die Gewässerüberwachung (Monitoring) erfasst Messstellen in natürlichen (NWB), künstlichen (AWB) sowie erheblich veränderten Oberflächenwasserkörpern (HMWB). Somit werden auch (Schifffahrts-) Kanäle (AWB) im Rahmen des Monitorings untersucht. Durch den Verbau der Kanäle, Eingriffe in das Abflussgeschehen sowie die Nutzung selbst sind sie jedoch als Grundlage für die Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen ungeeignet. **Messstellen** in entsprechenden Gewässern sind somit grundsätzlich von der Auswertung auszuschließen.

8.2.3 Beschaffenheitskriterien

Der LAWA-AO (2015) gibt in ihrer Technischen Anleitung (TA) zur „Berücksichtigung von natürlichen Hintergrundkonzentrationen [...]“ hydrochemische Beschaffenheitskriterien für Nitrat, Ammonium und Ortho-Phosphat-Phosphor vor. Auch WENDLAND et al. (2008) nennen Nitrat und Ammonium als Indikatoren anthropogener Einträge. Für Nitrat legt der LAWA-AO (2015) einen Grenzwert von 5 mg/l fest, während Ammoniumkonzentrationen einen Wert von 0,2 mg/l nicht überschreiten dürfen. Für Ortho-Phosphat-Phosphor entspricht der Grenzwert 0,07 mg/l. Überschreitet der Mittelwert eines Parameters das gesetzte Kriterium an einer Messstelle, ist die **Messstelle** aus dem Datensatz zu entfernen (LAWA-AO 2015).

Die Verwendung von Beschaffenheitskriterien als Präselektionskriterium wird in der Literatur kontrovers diskutiert und je nach Verfasser*in unterschiedlich ausgelegt. So variieren Grenzwerte für Nitrat-Stickstoff von 1,13 mg/l (\approx 5 mg/l NO_3 ; LAWA-AO 2015; C&E 2010, 2011, 2012), über 3,4 mg/l (\approx 15 mg/l NO_3 ; OTTO 2017) bis zu 5 mg/l (\approx 22 mg/l NO_3 ; NORRA et al. 2000).

Um die Auswirkungen der Beschaffenheitskriterien des LAWA-AO auf die Datenbasis zu überprüfen, wurde testweise ein Ausschluss aller Messstellen vorgenommen, die nicht den durch die TA gesetzten Grenzwerten entsprechen. Hierbei zeigte sich, dass bei Anwendung des Nitrat-Kriteriums von 5 mg/l (1,13 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$) bereits eine Reduktion der Datenbasis um 89 % eintritt. Auch eine Anhebung des Grenzwertes auf 11 mg/l (2,5 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$) bedingt weiterhin einen Ausschluss von 65 % aller Messstellen. Eine Reduktion der Datenbasis dieser Größenordnung wurde für das Vorhaben als nicht vertretbar angesehen. Die Ausarbeitungen der Testauswertungen sind im Detail im Anhang unter Kapitel 35.6 aufgeführt.

Bereits KUNKEL et al. (2004) machen auf die Problematik aufmerksam, dass erhöhte Konzentrationen von Indikatormaterialien, wie z. B. Nitrat, nicht notwendigerweise mit anthropogen erhöhten Konzentrationen anderer/aller Parameter einhergehen. Auch Teilnehmer des projektbegleitenden Arbeitskreises äußerten ihre Zweifel bezüglich einer eindeutigen Korrelation zwischen Nitratreinträgen und anthropogenen Einträgen von Schwer- und Halbmetallen.

Zur Überprüfung dieser These wurden durch den Projektnehmer weitere Testauswertungen durchgeführt (vgl. Beschlussvorlagen zur 3. AK-Sitzung am 14.12.2017): Am Beispiel des Parameters Arsen kann keine Korrelation zwischen erhöhten Konzentrationen beobachtet werden. Häufig betrifft hier eine Anwendung des Nitrat-Kriteriums auch die unteren Konzentrationsspannen des Datenkollektivs. Auch räumlich kann kein Zusammenhang zwischen Überschreitungen des Nitrat-Kriteriums und landwirtschaftlich genutzten Flächen sowie erhöhten Metallgehalten beobachtet werden. Erhöhte Nitratkonzentrationen (stellvertretend für die Beschaffenheitskriterien) bedingen somit nicht grundsätzlich anthropogen erhöhte Metallkonzentrationen in Oberflächengewässern.

Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die Vorgaben des LAWA-AO (2015) auf dem Auswerteverfahren nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) basieren, welches an eine strikte Präselektion gebunden ist. Das im

Rahmen des Projektvorhabens gewählte Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze ist hingegen im Umgang mit Anomalien robust, da auch eine nachträgliche Identifizierung von anthropogenen Konzentrationsspektren möglich ist. Darüber hinaus wurden im Projekt die Nitrat-/Ammonium- und Ortho-Phosphat-Phosphor-Konzentrationen aller Einzelproben in den Auswertungen mitgeführt und konnten so für die Beurteilung von Teilpopulationen/Anomalien innerhalb der Datensätze herangezogen werden. Es erfolgte somit kein Informationsverlust.

Unter Berücksichtigung der aufgeführten Faktoren und basierend auf den Ergebnissen der Testauswertungen (Zwischenbericht und Beschlussvorlagen) wurde in Absprache mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis das Präselektionskriterium der Beschaffenheitskriterien ausgesetzt.

8.2.4 Umweltqualitätsnorm

Die vierte Selektionsstufe baut auf den in Kapitel 4.1 ausgewiesenen Beurteilungswerten (UQN, OW) auf und setzt diese in Bezug zu Analyseergebnissen unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG). Liegt eine Parameteranalyse unterhalb der BG, verliert der Wert an Aussagekraft. Ist die BG gleichzeitig größer als der zugehörige Beurteilungswert, ist die Messung für die Ermittlung der natürlichen Hintergrundkonzentration zu ungenau. Aus diesem Grund sind **Messwerte** unterhalb der BG, die zugleich oberhalb der jeweiligen UQN liegen, aus dem Datensatz zu entfernen (Abb. 8-4).

Die Datensätze des Geochemischen Atlas aus 1985 sind verstärkt von diesem Ausschlusskriterium betroffen. Gemäß den Vorgaben fließen die Datensätze des Geochemischen Atlas (1985) für Cadmium, Kobalt und Blei nicht in die Auswertungen mit ein.

8.2.5 Abwasseranteil/MQ-Kriterium

Einhergehend mit der hohen Bevölkerungsdichte in NRW (Nordrhein-Westfalen 525 Einw./km²; bundesweiter Durchschnitt 229 Einw./km²; MKULNV et al. 2014) fallen hohe kommunale und industrielle Abwassermengen an, sodass sich ein hoher Belastungsdruck auf die Gewässer ergibt (MKULNV et al. 2014). Je stärker ein Gewässerabschnitt durch Abwassereinleitungen beeinflusst wird, desto weniger spiegeln genommene Wasserproben den natürlichen Gewässerchemismus wider und desto weniger eignen sich die dort angelegten Messstellen für eine Ermittlung von Hintergrundkonzentrationen. Dabei können die Einleitungen, abhängig von der Abwassermenge und dem betrachteten Parameter, die Stoffkonzentrationen in einem Gewässer nicht nur erhöhen, sondern auch verdünnend wirken.

In den Ausarbeitungen zum Stand der Abwasserbeseitigung werden Gewässer mit mehr als 33 % Abwasseranteil als „abwasserbeeinflusste Gewässer“ eingestuft (MKULNV et al. 2014). In Anlehnung an diese Charakterisierung wird ein Selektionskriterium basierend auf dem Abwasseranteil der Gewässer definiert. Liegt an einer **Messstelle** der Abwasseranteil am mittleren Abfluss (MQ) über 30 %, wird die Messstelle nicht in die Auswertungen mit einbezogen.

8.2.6 DPSIR (Driving forces · Pressure · State · Impact · Response)

Das DPSIR-Modell sieht eine Kategorisierung von Umweltbelangen vor und beschreibt anhand dessen Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und ihren Auswirkungen auf die Umwelt. Als signifikante Belastungsursachen werden beispielsweise Bergbau, Landwirtschaft, Verkehr oder Niederschlagswasserentlastungen betrachtet und ihr Einfluss auf die Umwelt eingeschätzt. Die Einstufung eines OFWK anhand des DPSIR-Ansatzes ermöglicht somit eine Aussage bezüglich seiner Belastungsquelle und ihrer Auswirkung auf die Gewässerbeschaffenheit. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse der DPSIR-Einstufung als Ausschlusskriterien in Betracht gezogen.

Durch das LANUV und das MKULNV wurde der DPSIR-Ansatz im Sinne des Projektvorhabens weiterentwickelt. Dabei wurde eine Zuordnung der Untersuchungsparameter zu den einzelnen Belastungstypen vorgenommen, sodass jeder OFWK parameterspezifisch ausgewertet werden kann. Die Zuordnung der Parameter zu den Belastungsquellen erfolgt in vier Kategorien von -1 bis 3 (Tab. 8-2; Auszug aus Gesamttabelle). Eine Einstufung von -1 bedeutet, dass der Parameter der Belastung eher nicht zuzuordnen ist. Im Falle der Kategorie 1 ist eine Zuordnung möglich, es kann aber keine eindeutige Aussage getroffen werden. Die Kategorie 2 gibt an, dass der jeweilige Parameter durch die Belastungsquelle in relevanten Mengen eingetragen wird und eine Einstufung von 3 sagt aus, dass es sich bei der Belastung um den Schwerpunkteintragspfad des Stoffes handelt.

Tab. 8-2: Zuordnung der Untersuchungsparameter zu Belastungen (Unterscheidung von Punktquellen – PQ, diffusen Quellen – DQ und Sonstige – SO) (LANUV & MKULNV 2017, ergänzt nach LANUV 2024)

Belastung (Pressure)	Blei	Cadmium	Quecksilber	Nickel	Arsen	Chrom	Kupfer	Selen	Silber	Thallium	Zink	Eisen	Sulfat	Barium	Beryllium	Bor	Kobalt	Mangan	Molybdän	Uran	Vanadium	Titan
PQ kommunale KA	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	2	1	-1	1	2
PQ industriell IED	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PQ industriell nicht IED	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PQ Altlast	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PQ Mülldeponie	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PQ Bergbau	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	1	2	2	1	2	2	2	1
PQ Sonstige	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
DQ Wohn-/Industrie-Gebiete	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1
DQ Landwirtschaft	-1	2	1	2	2	2	2	1	1	-1	2	1	2	-1	-1	1	1	1	-1	2	-1	-1
DQ Forstwirtschaft	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
DQ Straßen	2	2	-1	2	2	1	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	2
DQ Altlasten	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DQ kommunale Flächen ohne KA	2	2	-1	2	2	1	2	-1	-1	-1	2	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
DQ Bergbau	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1
SO anthropogene Belastungen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	1	1	-

-1 Zuordnung trifft eher nicht zu 1 Zuordnung möglich 2 Zuordnung trifft zu 3 Zuordnung trifft zu, Schwerpunkteintragspfad

Bei der Zuordnung/Kategorisierung der Parameter zu den jeweiligen Belastungen wurde deutlich, dass nicht immer eine eindeutige Beziehung zwischen Parametern und Eintragspfaden hergestellt werden kann. Während Zuordnungen der Kategorie 3 eindeutig den Eintragspfaden zuzuweisen sind, sind Zuordnungen der Kategorien 1 und 2 mit gewissen Unsicherheiten behaftet und können situations-/lagebedingt variieren. Aus diesem Grund wurden ausschließlich Zuordnungen der Kategorie 3 bereits in der Präselektion berücksichtigt (Barium – Punktquelle Bergbau; Bor – Punktquelle kommunale KA). Gleichzeitig ist die Lage der Messstelle relativ zu der Belastungsquelle von Bedeutung. Liegt eine Messstelle oberstromig der relevanten Belastung, ist sie unabhängig von der Einstufung des DPSIR und verblieb daher in der Projektdatenbank.

Ist im DPSIR für einen FWK eine Belastungsquelle mit der Zuordnung 3 identifiziert worden, wurden im Rahmen der Präselektion alle **Messstellen** unterstromig der Belastung aus der Auswertung ausgeschlossen. Dabei wurde das Kriterium im Fall von Bor noch weiter konkretisiert. Anstatt für Bor einen generellen Ausschluss aller Messstellen unterstromig von Kläranlagen vorzunehmen, wurden, wie schon in Kapitel 8.2.5 beschrieben, die Ausarbeitungen zum Stand der Abwasserbeseitigung (MKULNV et al. 2014) berücksichtigt. Das bereits bestehende MQ-Kriterium von 30 % wurde unter Berücksichtigung der DPSIR-Kategorisierung für Bor verschärft, sodass nur Messstellen mit einem Abwasseranteil < 10 % am MQ in die Auswertung einfließen durften. Damit greifen bei der Präselektion von Bor zwei Selektionskriterien ineinander.

Wenngleich Zuordnungen der Kategorien 1 und 2 nicht in der Präselektion aufgegriffen wurden, wird die Information weiterhin in der Projektdatenbank geführt, sodass im Verlauf der Auswertungen die Einstufung des DPSIR als zusätzliches Qualitätskriterium für eine Messstelle abrufbar ist. So korrelierten Teilpopulationen/Anomalien von Datensätzen in der Auswertung mitunter mit Einträgen des DPSIR und ermöglichten eine Identifizierung und begründete Abtrennung der anthropogenen Beeinflussung.

Fazit

Für das Projekt wurde ein gestufter Ansatz zur Präselektion entwickelt, bei dem verschiedene konkrete, quantitative Ausschlusskriterien sukzessiv angewendet und bereits bestehende Bewertungssysteme genutzt werden. Insgesamt werden **acht Selektionskriterien** angewendet, die sich sowohl auf die BE sowie auf die Messstellen oder auch die konkreten Analysen beziehen und so zu generellen oder auch nur parameterspezifischen Ausschlüssen führen können. Die Kriterien sind in Abbildung 8-4 schematisch zusammengefasst.

In Absprache mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis wurde im Erstprojekt beschlossen, auf die Anwendung der Beschaffenheitskriterien zu verzichten. Im Rahmen des C&E-Projektes (C&E 2011) hatte sich bereits gezeigt, dass eine zu starke Präselektion für die Auswertung nicht zielführend ist. Ein verstärktes Augenmerk wird aus diesem Grund im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen auf die

Auswertung und die Möglichkeiten des Auswerteverfahrens gelegt. Hierbei können möglichst umfassende Randinformationen den Auswerteprozess und die korrekte Beurteilung der Häufigkeitsverteilung unterstützen. Welche Randdaten dem Projektnehmer zur Verfügung stehen, wird im folgenden Kapitel behandelt.

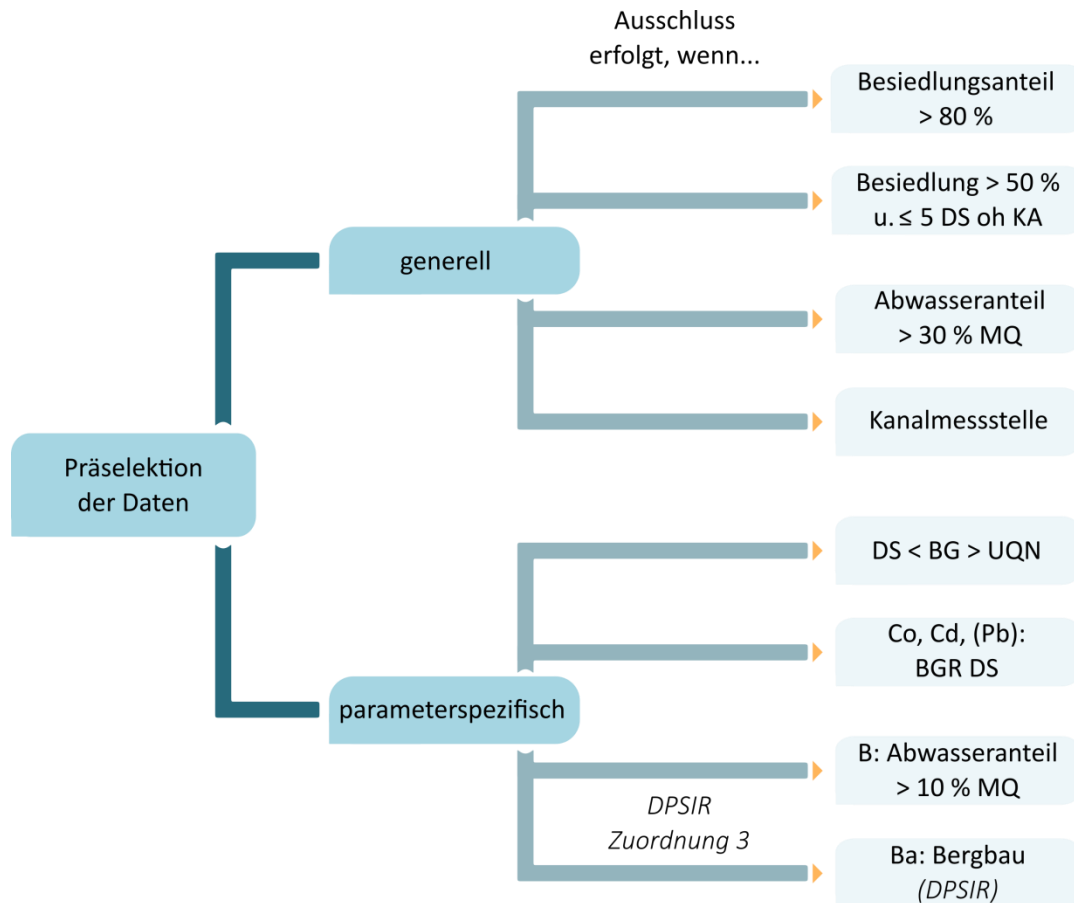


Abb. 8-4: Schematische Darstellung der verwendeten Präselektionskriterien

9 Randdaten (Plausibilisierung)

Die Wasserbeschaffenheit in Oberflächengewässern ist das Ergebnis verschiedenster Prozesse in den Gewässern selbst, innerhalb ihrer Einzugsgebiete und auch darüber hinaus (atmosphärische Deposition). Dabei kommen sowohl geogene als auch anthropogene Faktoren zum Tragen. Aus diesem Grund reicht eine alleinige Auswertung von Gewässergütedaten nicht aus, um repräsentative und belastbare Ergebnisse für natürliche Hintergrundkonzentrationen zu erzielen. Vielmehr ist eine umfangreichere Datenbasis vonnöten, damit eine Beurteilung der Eingangsdaten für die Auswertung sowie der Ergebnisse im Kontext der jeweiligen Rahmenbedingungen erfolgen kann.

Im Projekt wurden zu diesem Zweck Randdaten aus anderen Kompartimenten (Grundwasser, Boden, Gestein u. a.) und zu vorliegenden anthropogenen Beeinflussungen akquiriert. Sie dienen der Plausibilisierung der Konzentrationen und der Abschätzung anthropogener Einflüsse auf das Gebiet. Dabei fanden sowohl Rohdaten als auch Ergebnisse vorhandener Auswertungen Anwendung.

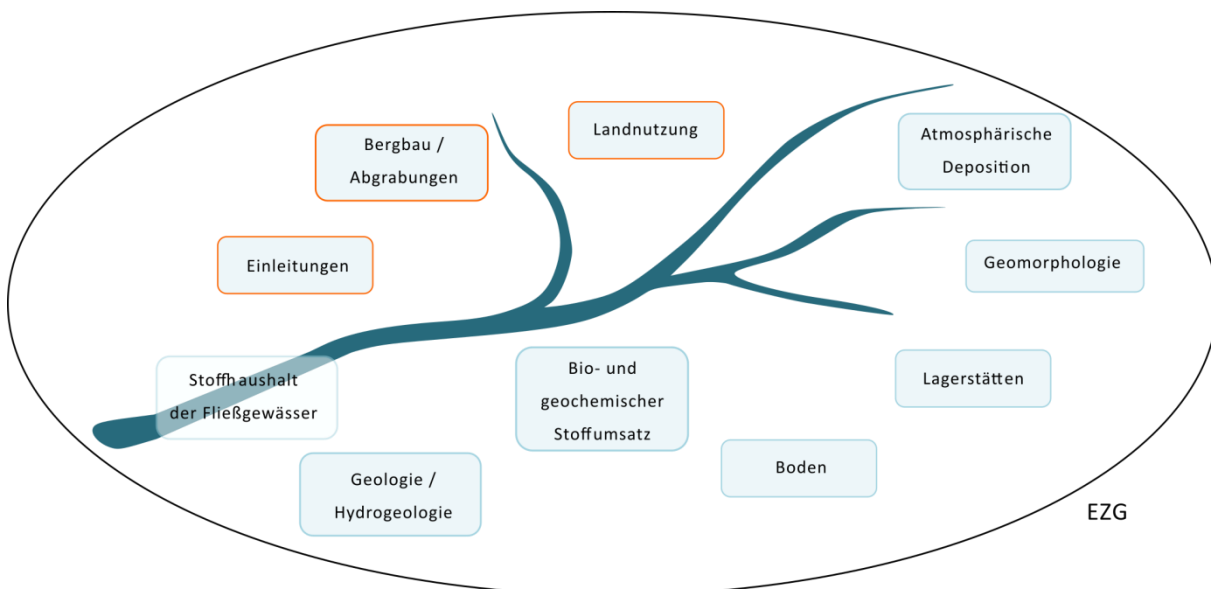


Abb. 9-1: Faktoren, die im Einzugsgebiet (EZG) eines Fließgewässers Einfluss auf dessen stoffliche Zusammensetzung nehmen (verändert nach NORRA et al. 2000)

Im Folgenden wird kurz auf die (wichtigsten) Randdaten und Projekte eingegangen, die die Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern unterstützen und der Plausibilisierung der Auswertungen dienen. Neben öffentlich zugänglichem Kartenmaterial (z. B. ATKIS) wurden auch Daten durch verschiedene beteiligte Institutionen bereitgestellt.

9.1 Grundwasser

Anlässlich der Vorgaben der WRRL befasst sich der PK HGW der SGD seit 2005 mit der Ermittlung natürlich bedingter **Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser** Deutschlands (WAGNER et al. 2011).

Ziel des PK HGW war es, die natürlichen Stoffkonzentrationen flächenhaft und nach geologischen Kriterien abzuleiten. Dazu wurden innerhalb Deutschlands, basierend auf der HÜK 200, 186 Hydrogeochemische Einheiten (HGC) entsprechend geologisch-genetischer und hydrogeologischer Kriterien voneinander abgegrenzt. Erste Hintergrundwerte (90. Perzentil) für anorganische Haupt-, Neben- und Spurenelemente in den HGC wurden 2005 veröffentlicht (WAGNER et al. 2011). Im Jahr 2012 erfolgte eine Erweiterung des Elementspektrums um weitere Spurenelemente.

Die Ergebniskarten sind als Web Map Service (WMS) auf der Internetseite der BGR für die Öffentlichkeit zugänglich. Derzeit sind im WMS Hintergrundwerte für 39 Parameter abrufbar (PK HGW 2014).

Die für die vorliegenden Auswertungen abgegrenzten Bewertungseinheiten (BE) im Oberflächenwasser basieren auf denselben aus der HÜK 200 abgeleiteten HGC, die auch für die bundesweite Auswertung im Grundwasser genutzt wurden.

Es ist davon auszugehen, dass die Verteilung natürlicher Hintergrundkonzentrationen im Grundwasser und im Oberflächenwasser räumlich miteinander korreliert. Aus diesem Grund wurden die natürlichen Stoffkonzentrationen in den Oberflächengewässern mit den ermittelten Hintergrundwerten im Grundwasser abgeglichen.

Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die BE im Oberflächenwasser meist weiter differenziert wurden. Durch die insgesamt wesentlich höhere Auflösung, d. h. kleinteiligere Betrachtung im Bereich der Oberflächengewässer, können auch maßstabsbedingt begründete Abweichungen zwischen den bundesweiten Hintergrundwerten im Grundwasser und den landesweiten Hintergrundwerten in Oberflächengewässern entstehen. Entsprechende Abweichungen lassen sich mithilfe konkreter Grundwasseranalysen überprüfen.

Dazu wurden – wo erforderlich – ergänzend zu den Hintergrundwerten im Grundwasser die stoffspezifischen Konzentrationen in geeigneten **Grundwassermessstellen** innerhalb der BE betrachtet. Hierfür wurden die in HygrisC hinterlegten Daten aus der Grundwasserüberwachung genutzt. Während die Hintergrundwerte im Grundwasser einen statistischen Kennwert für die Fläche einer HGC markieren, geben die Grundwassermessstellen noch einen konkreteren Eindruck der lokalen Gegebenheiten.

9.2 Boden

In Böden vorkommende Stoffkonzentrationen können durch Erosions- und Lösungsprozesse in Oberflächengewässer eingetragen werden. Eine Gegenüberstellung der Gewässerbeschaffenheit zu den lokalen Bodenwerten erlaubt eine weitere Abschätzung bezüglich der Validität von natürlichen Hintergrundwerten in Oberflächengewässern.

2003 wurden durch die LABO **Hintergrundwerte in den Böden** Deutschlands erarbeitet. Im Auftrag des LANUV wurde 2015 eine aktualisierte Version landesspezifischer Hintergrundwerte veröffentlicht (FELDWISCH & LENDVACZKY 2015). Die abgeleiteten Hintergrundwerte basieren auf den Daten des Fachinformationssystems Stoffliche Bodenbelastungen (FIS StoBo) des LANUV und wurden entsprechend den Vorgaben der LABO (2003) ermittelt. Durch das LANUV wurden die erarbeiteten Übersichtskarten dem GD NRW als ArcGIS-Projekt zur Verfügung gestellt. Es liegen Karten für acht der zu untersuchenden Parameter vor (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).

Eine weitere Möglichkeit, Konzentrationsverteilungen in Oberflächengewässern in Bezug zu stofflichen Veränderungen im Boden zu stellen, bieten die **Bodenbelastungskarten** (BKK) der Kreise. In diesen Karten werden, im Gegensatz zu den Hintergrundwerten, schädliche Bodenveränderungen erfasst und dabei auch anthropogene Belastungen (z. B. Erzabbaugebiete oder Gebiete erhöhter Immissionsbelastung) berücksichtigt. Die Ergebnisse der BKK können einen Hinweis darauf geben, ob und inwiefern Stoffverteilungen in spezifischen Gewässerabschnitten durch schädliche (anthropogene) Bodenveränderungen bedingt sind. Es liegen BKK für den Rhein-Erft-Kreis (FELDWISCH & LENDVACZKY & GRÖNMEIER-HANDKE 2014) und die Städtereion Aachen (STASSNY 2011) vor.

Sofern Bedarf bestand, kleinräumige Gewässerabschnitte im Detail zu evaluieren, konnten ebenfalls **punktuellen Bodendaten** aus dem FIS StoBo oder der Bodendatenbank des GD NRW als Referenzpunkte genutzt werden.

Bei der Auswertung wurde der Fokus jedoch im Wesentlichen auf die Hintergrundwerte im Boden gelegt, die einen direkten flächenhaften Bezug zu den natürlichen Stoffverteilungen in der BE ermöglichen.

Darüber hinaus wurden für weitergehende Betrachtungen **Bodenkarten** des GD NRW verwendet. Ein besonderes Augenmerk wurde hier auf die Ausweisungen von Mooren, Anmooren und Niederungen (Auenbereiche) gelegt, da diese sowohl Schwermetallsenken als auch Schwermetallquellen darstellen können.

9.3 Gestein

Natürlich vorkommende Stoffkonzentrationen werden maßgeblich durch die Geologie geprägt, da alle zu bewertenden Parameter ihren Ursprung im Gestein haben. So bestimmt das Ausgangsgestein über den lithogenen Anteil des geogenen Stoffbestandes im Boden und Wechselwirkungen zwischen der durchflossenen Gesteinsmatrix und dem Grundwasser bedingen die Konzentrationsverteilung im Grundwasser (LABO 2003; WAGNER et al. 2011). Über den Boden oder das Grundwasser werden die geologischen Bedingungen indirekt auf die Oberflächengewässer übertragen. Zugleich wirken Verwitterungs- und Lösungsvorgänge im Festgestein direkt auf den Stoffhaushalt der Oberflächengewässer (vgl. Kap. 4.3). Somit ist die Kenntnis der Untergrundverhältnisse maßgebend für die Beurteilung der natürlichen Stoffgehalte in den Oberflächengewässern.

In der Studie zu „Natürliche(n) Haupt- und Spurenelemente [...] von Locker- und Festgesteinen in NRW“ (HORNBURG 2003) wurden Gesteinskennwerte ermittelt und differenziert nach Genese und Petrographie ausgewertet. Naturbedingte Anomalien, wie z. B. Vererzungen, wurden in den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in einer **Gesteinsdatenbank** (Access-DB) des GD NRW hinterlegt. Für 17 der im vorliegenden Projekt zu untersuchenden Parameter wurden im Rahmen der Studie Kennwerte ermittelt (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti, Tl, V, Zn). Es ist festzuhalten, dass die Kennwerte lediglich als Punktinformationen mit geringer Dichte vorliegen und keine Extrapolation in die Fläche vorgenommen wurde. Demzufolge können die Punktinformationen zwar lokal als Orientierungswerte eingesetzt werden, ein Übertrag in einen größeren Maßstab sollte aber nicht erfolgen.

Für flächenhafte Betrachtungen sind **geologische Karten** oder die **Hydrogeochemischen Einheiten** zu nutzen.

9.4 Erzlagerstätten

Für den internen Gebrauch führt der GD NRW das **Informationssystem Erz** (IS Erz), in dem vorhandene Unterlagen zu punktuellen Erzfunden oder zu Erzvorkommen in NRW zusammengestellt sind. Die dort hinterlegten Informationen bieten eine Grundlage, um erhöhte Stoffkonzentrationen in Oberflächengewässern mit natürlichen Erzvorkommen abzugleichen. Von den 22 zu untersuchenden Parametern werden elf Elemente (Ag, Hg, As, Ba, Co, Fe, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) im IS Erz erfasst.

Für die Beurteilung weiterer Parameterkonzentrationen wurden ergänzend **Lagerstättenkarten** (z. B. Deutscher Planungsatlas) herangezogen.

Zusätzlich liegen für einzelne Erze hausintern Flächeninformationen zu **Berechtsamen** (Bewilligungsfelder) vor. Über das Nutzungsrecht der verliehenen Bergfelder können Rückschlüsse auf geogene Vorkommen geschlossen werden. Korrelieren folglich erhöhte Zinkkonzentrationen in den Oberflächengewässern mit Teilfeldern, in denen ein Abbaurecht für Zink oder Zinkblende erteilt wurde, kann vermutet werden, dass eine Zinklagerstätte die Konzentrationserhöhung bedingt. Ob in den entsprechenden Bereichen schließlich ein Abbau erfolgt ist und anthropogene Tätigkeiten die geogenen Konzentrationen überlagern, kann aus diesen Informationen nicht abgelesen werden. Um eine Einschätzung bergbaubedingter Konzentrationsverteilungen in Wasserkörpern zu erhalten, werden weitere Randdaten benötigt.

9.5 Bergbau

Bergbautätigkeiten konzentrieren sich immer auf jene Bereiche, in denen Lagerstätten existieren, deren Rohstoffe wirtschaftlich gewinnbar sind. Somit existiert in Bergbaugebieten ein erhöhtes geogenes Potenzial, welches technologisch mobilisiert und freigesetzt wird.

In der Studie der **ARGE Erzbergbau** zu „Signifikante(n) Belastungsquellen des Erzbergbaus [...]“ (2012) wurden im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg (Abt. 6 – Bergbau und Energie in NRW) Schwermetalleinträge aus ehemaligen Erzgruben in Oberflächengewässer erfasst. Als Ergebnis der Studie wurden sowohl Erzreviere ausgewiesen als auch Verdachtspunkte und Hauptbelastungsquellen identifiziert, an denen Schwermetallausträge in Oberflächengewässer erfolgen. Bei den Bewertungen wurden einzelne Bereiche, wie der Strontianit-Bergbau im Münsterland, der Blei-Zink-Erzabbau im Bereich der Steinkohlelagerstätten, der Barytabbau im Hochsauerlandkreis und der Eifel oder auch Hüttenstandorte, nicht berücksichtigt. Zudem wurden ausschließlich Gebiete betrachtet, in denen zum Zeitpunkt der Bearbeitung auffällige Belastungen in den Oberflächengewässern zu verzeichnen waren. Für das Projektvorhaben wurden durch die Bezirksregierung Arnsberg die Ergebnisse des Erzprojektes als ArcGIS-Datei sowie in Form von Objekt- und Reviersteckbriefen bereitgestellt. Anhand der übermittelten Informationen konnte eine fundierte Beurteilung hinsichtlich bergbaubedingter Konzentrationsveränderungen in Oberflächengewässern erfolgen.

Im Raum Bensberg konnten diese Informationen durch Altbergbau-Zusammenträge ergänzt werden, die im Rahmen des Förderprojektes des LVR „**Bensberger Erzrevier**“ aufbereitet wurden (REMMERT 2024).

Weitere Hinweise auf bergbaubedingte Schwermetalleinträge in Oberflächengewässer und entsprechende Maßnahmenplanungen finden sich ebenfalls in den **Steckbriefen der WRRL-Planungseinheiten** sowie in den Maßnahmenkatalogen (MKULNV 2015; MKULNV & LANUV 2015 a; MULNV & LANUV 2021; MULNV 2021 a).

Als weitere Informationsquelle wurde das Informationssystem zu **Gefährdungspotenzialen des Untergrundes** (IS GDU) herangezogen, in dem auch bergbaulich bedingte Untergrundgefährdungen erfasst werden. Umfassende Datensätze zu Tagesbrüchen, Tagesöffnungen sowie oberflächennahem Bergbau lassen ebenfalls Rückschlüsse auf mögliche Beeinflussungen der Oberflächengewässer zu.

9.6 Abwasser

Die Kenntnis von Einleitstellen in die Gewässer ist im Rahmen des Projektvorhabens ein entscheidender Faktor. Anthropogene Punktquellen stellen einen nachweisbaren Eingriff in den Gewässerchemismus dar und dürfen keinesfalls in die Ermittlung des Hintergrundwertes (90. Perzentil) einfließen. Liegt eine Messstelle unterstromig einer Einleitung, ist sie entweder direkt von den Auswertungen auszuschließen (vgl. Kap. 8.2.5) oder es kann eine Abtrennung des anthropogenen Anteils angestrebt werden.

Alle zwei Jahre veröffentlicht das MUNV einen Lagebericht zu „Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in NRW“. Darin werden unter anderem Abwasseranlagen flussgebietsbezogen dargestellt und **Einleitungen in Oberflächengewässer** erfasst (MKULNV et al. 2014; MUNV et al. 2024). Die Ergebnisse des Lageberichtes werden in ELWAS-WEB für die Öffentlichkeit visualisiert. Ein Ergebnisauszug des Lageberichtes zu industriellen und kommunalen Direkteinleitungen wurde durch das LANUV als Excel-Dateien (2014 – 2018 bzw. 2014 – 2024) für das Projekt bereitgestellt.

Ergänzend standen Daten des **Schadstoffbeseitigungs- und Verbringungsregisters** (PRTR) zur Verfügung (PRTR 2016, PRTR 2023). Darin enthalten sind Schadstoffemissionen berichtspflichtiger Betriebe. Die Daten können auf dem Internet-Portal *thru.de* eingesehen werden. Für das Projektvorhaben wurden die PRTR-Daten (Stand: 31.03.2016 und 08.12.2023) in Form einer SQLite-Datenbank im September 2016 sowie als Excel-Tabellen im Januar 2024 heruntergeladen.

9.7 Deponien und Altlasten

Direkteinleitungen aus Deponiebetrieben werden bereits im Rahmen des Lageberichtes zur Abwasserbeseitigung erfasst. Über einen Zugriff auf das webbasierte **AbfalldPONIEDATEN-Informationssystem** zur Deponieselbstüberwachung in NRW (ADDISweb) konnten bei der Auswertung ergänzend Detailbetrachtungen auffälliger Gewässerabschnitte erfolgen. Darüber hinaus wurden durch das LANUV **Deponieschwerpunkte und -grenzen** als Shapefile zur Verfügung gestellt, sodass auch ein räumlicher Bezug zwischen auffälligen Gewässerabschnitten und möglichen diffusen oder punktuellen Deponieeinflüssen hergestellt werden kann. Die entsprechenden Lageinformationen sind auch unter **ELWAS-WEB** öffentlich einsehbar (<https://www.elwasweb.nrw.de/>).

Punktuelle Informationen zu **Altlasten bzw. Altlastverdachtsflächen** liegen aus dem **C&E-Projekt** (C&E 2011) vor; diese fanden auch im Rahmen des Projektvorhabens Anwendung.

9.8 Abgrabungen

Mineralische Rohstoffe spielen eine entscheidende Rolle in der wirtschaftlichen Entwicklung und bilden einen essenziellen Bestandteil unseres täglichen Lebens. Als natürliche Ressource sind Bodenschätze an geologische Schichten und Strukturen gebunden und nur begrenzt vorhanden. Um einen nachhaltigen und ressourcenschonenden Abbau von Rohstoffen zu gewährleisten, sind die Kenntnis der Vorkommen, eine kontrollierte Ausweisung von Abbauflächen und die Überwachung der Abgrabungen vorauszusetzen.

Der GD NRW befasst sich aus diesem Grund intensiv mit den Rohstoffvorkommen in NRW, erhebt Fachdaten und überwacht im Auftrag der Landesregierung die Abgrabungssituation in NRW.

Im Rahmen der Regional- und Landesplanung werden jährlich **Bereiche für die Sicherung und den Abbau oberflächennaher Bodenschätze** (BSAB) ausgewiesen. Im **Abgrabungsmonitoring** werden wiederum aktive Abgrabungsflächen von Lockergesteinen überwacht, während das **Abgrabungskataster** alle Abgrabungen (ab 1972) von Locker- und Festgesteinen in NRW führt, bei deren Verfahren der GD NRW beteiligt wurde.

Alle drei Informationssysteme wurden bei der Ermittlung von Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern berücksichtigt. Zum einen lässt der ausgewiesene Rohstoff unter Umständen Rückschlüsse auf erhöhte geogene Stoffgehalte zu, zum anderen beschreiben Abgrabungen immer auch einen Eingriff in den Untergrund. Abtragungen von schützenden Deckschichten können zu einer erhöhten Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers und der Oberflächengewässer führen. Zugleich kann die Belüftung des Untergrundes Einfluss auf natürliche Prozesse nehmen (z. B. Pyritoxidation).

9.9 Atmosphärische Depositionen

Stoffeinträge aus der Atmosphäre erfolgen grenzübergreifend und bedingen einen diffusen, ubiquitären Eintrag, der von seiner ursprünglichen Stoffquelle räumlich losgelöst ist. Dabei können sowohl anthropogene (z. B. Verbrennungsprozesse, Städte, Industrie, Verkehr) als auch geogene (z. B. Vulkanausbrüche, Wüstenstürme) Emittenten wirken (REIMANN & GARRETT 2005). STUMM & KELLER (1984) unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen atmophilen und lithophilen Elementen. Als atmophile Metalle bezeichnen sie solche, deren Massentransport zum Meer in der Atmosphäre größer ist als in den Flüssen. Dabei kann der Transport gasförmig erfolgen (z. B. nach Methylierung), gelöst oder nach Kondensation und Adsorption an Aerosole mit den Niederschlägen.

Das **Luftqualitätsüberwachungssystem** (LUQS) des Landes NRW erfasst Schadstoffkonzentrationen in der Luft. Neben kontinuierlichen Messungen werden in diskontinuierlichen Abständen auch Metallverbindungen im Feinstaub (PM10) gemessen. Die Ergebnisse können als Einzelwerte (Excel-Datei) oder als Jahreskennwerte (PDF) auf der Internetseite des LANUK abgerufen werden (LANUV 2016 a, 2016 b). Zudem können über das **Emissionskataster Luft NRW** online die wichtigsten Emissionen NRW-weit für unterschiedliche Darstellungsebenen (Land, Regierungsbezirk, Kreis, Gemeinde und 1x1-km²-Raster) visualisiert werden (<https://www ekl.nrw.de/>).

1990/1991 wurde erstmalig in einem bundesweiten **Moosmonitoring** der Eintrag von Schwermetallen aus der Atmosphäre anhand von Moosen untersucht (SIEWERS & HERPIN 1998). Im Sinne der Luftreinhaltekonvention werden die Untersuchungen alle fünf Jahre wiederholt und die Bioakkumulation von Schwermetallen in Moosen kartiert (SCHRÖDER et al. 2010). Die aus dem Moosmonitoring entwickelten stofflichen Verteilungskarten können gegebenenfalls der Plausibilisierung der Auswerteergebnisse dienen oder eine qualitative Abschätzung der ubiquitären Überprägung ermöglichen.

9.10 Landnutzung

Einen ersten Eindruck der Landnutzung und möglicher anthropogener Beeinflussungen liefert das DPSIR, welches nicht nur im Rahmen der Präselektion Anwendung fand, sondern auch im Rahmen der Auswertung zur Evaluierung der Eingangswerte verwendet werden konnte (s. Kap. 8.2.6). Um nähere Einblicke in die Landnutzung vor Ort zu erhalten, wurden das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS), das Corine Land Cover und digitale Orthophotos genutzt.

Fazit

Ein Überblick über die wesentlichen Randdaten und die darin erfassten Stoffe wird in Tabelle 9-1 gegeben.

Mithilfe der beschriebenen Informationen und Randdaten können verschiedene Teilpopulationen im Wahrscheinlichkeitsnetz evaluiert, anthropogene und geogene Beeinflussungen abgeschätzt sowie die Validität der Auswertungen überprüft werden. Damit bilden sie sowohl eine wichtige Informationsquelle während der Auswertung als auch bei der Plausibilisierung der ermittelten Hintergrundwerte. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Erstprojektes vorläufige Ergebnisse der Auswertungen den Bezirksregierungen zwecks Prüfung übermittelt.

Tab. 9-1: Überblick über die zur Verfügung stehenden Randdaten

	Informationsquelle	Datenformat
Grundwasser & Quellen	HGW im Grundwasser	Shapefile
	Grundwassermessstellen (HygrisC)	Informationssystem
	Quellkataster	Shapefile
	Mineral- und Heilquellen	Karte (analog)
Boden	HGW im Boden	Shapefile
	Bodenproben	Access-DB
	BKK	Karten (pdf)
	Bodenkarten	WMS; Shapefile
Gestein	Gesteins-DB	Access-DB
	Geologische Karten	WMS; Shapefile
Lagerstätten	IS Erz	Geodatabase
	Lagerstättenkarten	Karten (analog)
	Berechtsame	Shapefile
Bergbau	Erzbergbau-Projekt	Shapefiles
	Maßnahmenprogramme	Texte (pdf)
	IS GDU	Shapefiles
	Projekt „Bensberger Erzrevier“	Shapefiles
Abwasser	Einleitungen	Excel-Datei
	PRTR	SQLite-DB; Excel-Datei
Deponien & Altlasten	ADDISweb	Informationssystem
	ELWAS-WEB	Informationssystem
	C&E-Projekt	Shapefile
Abgrabungen	BSAB	Shapefile
	Abgrabungsmonitoring	Shapefile
	Abgrabungskataster	Shapefile
atmosphärische Depositionen	Moosmonitoring	Übersichtskarten (analog)
	LUQS	Excel-Datei; Tabelle (pdf)
	Emissionskataster Luft	Informationssystem
Landnutzung	DPSIR	Excel-Datei; Shapefile
	ATKIS	Shapefile
	Corine Land Cover	Shapefile
	digitale Orthophotos	WMS

10 Grundlagen der Auswertung

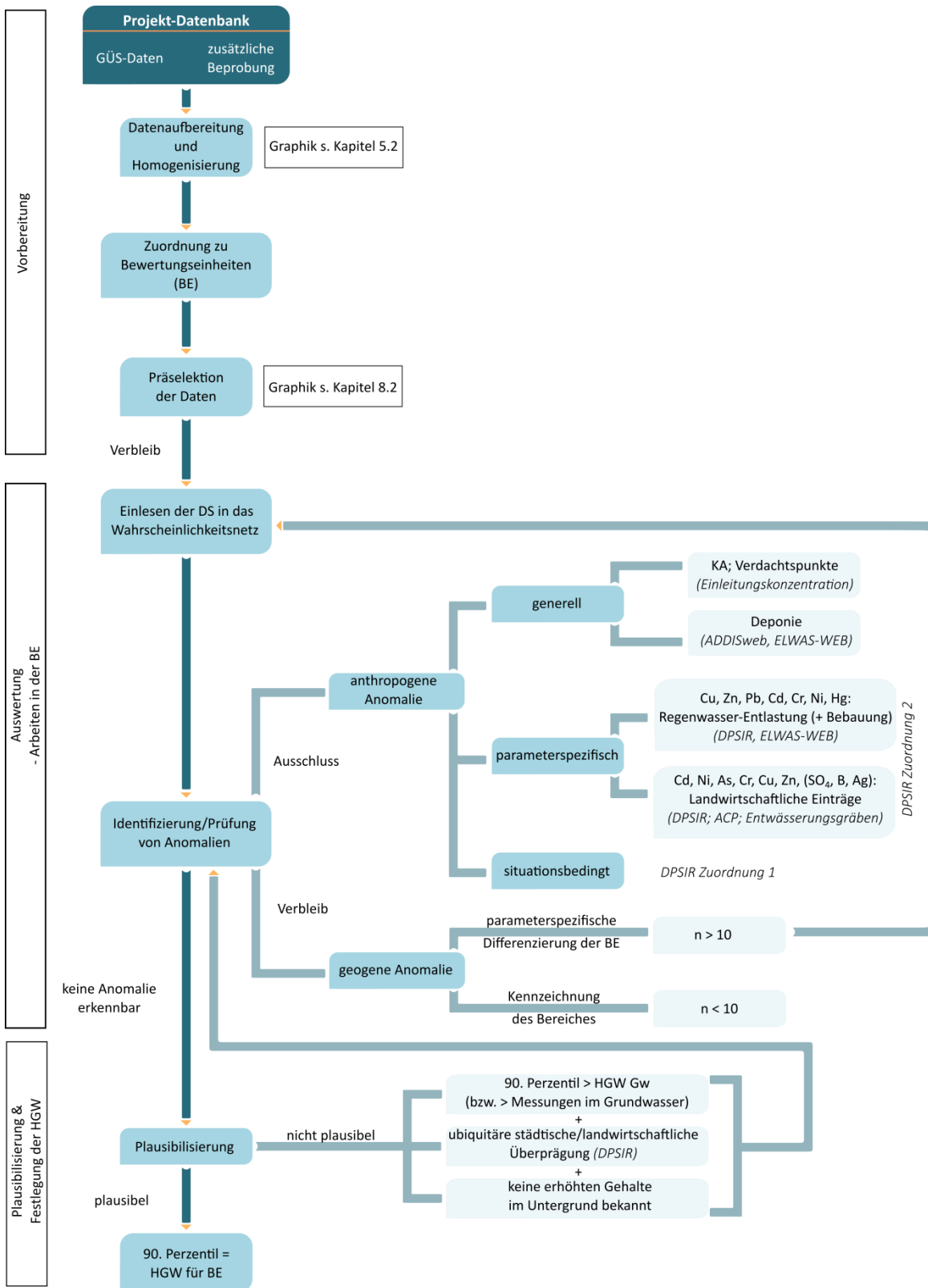


Abb. 10-1: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte

In Abbildung 10-1 werden die Grundlagen des Projektvorhabens anhand der Arbeitsschritte schematisch aufgezeigt.

Vorbereitende Schritte

Im Anschluss an die Datenaufbereitung und Aggregation aller Analysen in einer Datenbank werden den Messstellen die **Bewertungseinheiten** (BE) zugewiesen. Messpunkte, die sich auf der Grenze zweier BE befinden, werden der oberstromig liegenden Einheit zugeordnet.

Bevor die Präselektion der Daten erfolgen kann, müssen die relevanten **Randdaten** (DPSIR, Abwasseranteil, Kanal) ebenfalls mit den Messstellen verschnitten werden. Hierbei ist ein besonderes Augenmerk auf die Lage der Messstelle in Bezug auf Punktquellen zu legen. Als Ergebnis des Verschnittes führt die Datenbank neben den Gewässeranalysen Messstellen- und probenspezifische Informationen zu den BE, ACP, Kanälen, der Lage relativ zu Kläranlagen (oberhalb/unterhalb), den Einstufungen des DPSIR und der Landnutzung nach ATKIS sowie dem Abwasseranteil an MQ und MNQ [%].

Anschließend können die **Präselektionskriterien** (gem. Kap. 8.2) auf die Datenbasis angewendet werden. Messstellen oder Analysewerte, die die Kriterien nicht erfüllen, werden aus den Eingangsdaten entfernt.

Um eine parameterspezifische statistische Auswertung für jede BE durchführen zu können, bedarf es in der Regel einer Mindestanzahl von **zehn Eingangswerten**. Diese müssen über der Bestimmungsgrenze (BG) liegen und sollten die Normalpopulation repräsentieren. Als Eingangswert wurde im Projekt nach ausführlicher Diskussion innerhalb des begleitenden Arbeitskreises die neueste (repräsentative) Analyse an einer Messstelle verwendet.

Exkurs – Wahl des Eingangswertes

In der Projektdatenbank sind überwiegend Zeitreihen für die einzelnen Messstellen hinterlegt. Dabei entstammen die Messreihen unterschiedlichen Zeitspannen und weisen mitunter verschiedene Beprobungsfrequenzen auf. Damit einhergehend stehen für die Messstellen unterschiedlich viele Messergebnisse zur Verfügung. Um eine gleichmäßige Gewichtung der einzelnen Messpunkte zu gewährleisten, muss bei der Auswertung einer BE für jeden Standort die gleiche Anzahl an Messwerten berücksichtigt werden. Dabei können entweder für jeden Standort mehrere, aber gleich viele (z. B. vier) Messungen berücksichtigt werden oder jeder Messpunkt wird auf einen einzelnen Eingangswert reduziert. Die kleinste verfügbare Analysenanzahl pro Messstelle bildet dabei den begrenzenden Faktor. Bedingt durch die zur Zeit des Erstprojektes durchgeführte, projektspezifische Beprobungskampagne (Zusatzbeprobung), bei der nur eine einmalige Beprobung erfolgt ist, wird auf **einen Eingangswert je Messstelle** zurückgegriffen.

Bei der Verwendung eines Einzelwertes pro Zeitreihe einer Messstelle ist sicherzustellen, dass der Eingangswert repräsentativ für den jeweiligen Standort ist. Hierbei bestehen verschiedene Optionen: Es kann entweder ein statistischer Kennwert (z. B. Mittelwert) oder ein gemessener Wert (z. B. neueste Analyse) als Eingangswert verwendet werden.

Soll der **Mittelwert** einer Zeitreihe als Eingangswert für die Auswertung dienen, ist festzulegen, auf welche Art Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) in die Berechnung einfließen. In der Regel findet die halbe BG Anwendung (PETERS & MERRINGTON & CRANE 2012; GREIF & KLEMM 2010; SCHNEIDER et al. 2003). Es ist festzuhalten, dass auf diese Weise ein ‚fiktiver‘ Messwert in die Berechnung einbezogen wird, der das Ergebnis der Auswertung verzerren kann. Liegen beispielsweise an einem Messpunkt viele Analysenergebnisse unterhalb der BG, wird über den Mittelwert an der Messstelle ein Eingangswert generiert, der die vorliegenden Konzentrationen gegebenenfalls deutlich über- oder unterschätzt. Der Übertrag dieses Wertes in das Wahrscheinlichkeitsnetz beeinflusst wiederum die Geradenanpassung und verschiebt das 90. Perzentil. Ein weiterer Punkt, der zu beachten ist, ist die Zeitspanne der Beprobungen, anhand derer der Mittelwert berechnet wird. Hier können unregelmäßige Beprobungsfrequenzen Einfluss auf die Werteverteilung nehmen sowie Extremereignisse/temporäre Einträge den statistischen Wert verfälschen.

Alternativ kann die **neueste Analyse** einer Messstelle als Eingangswert verwendet werden. Es wird angenommen, dass im Falle aktueller Messungen die neuesten Analysemethoden mit den niedrigsten BG eingesetzt werden. Damit sichergestellt werden kann, dass die Einzelanalyse repräsentativ für den Parameter an der Messstelle ist, ist diese anhand statistischer Kennwerte (Mittelwert, Standardabweichung der Zeitreihe) als Qualitätskriterium zu überprüfen. Handelt es sich bei dem jüngsten Analysenergebnis um einen Ausreißer (Wert außerhalb von Mittelwert $\pm 2,5$ -Standardabweichung), soll die vorherige (ältere) Analyse für die Auswertung genutzt werden. Wird eine repräsentative Einzelanalyse als Eingangswert genutzt, bietet dies den Vorteil, dass Werte unterhalb der BG (anders als bei der Berechnung des Mittelwertes) nicht durch einen Schätzwert ersetzt werden müssen. Der Vorteil der Wahrscheinlichkeitsnetze, dass keine Abhängigkeit der Ergebnisse zu den BG besteht, bleibt somit erhalten. Diese Vorgehensweise ist bereits bei der bundesweiten Ermittlung der Hintergrundwerte im Grundwasser durch die SGD (WAGNER et al. 2011; PK HGW 2014) – nach Diskussion der Alternativen – erfolgreich verwendet worden. Die dort durchgeführten Auswertungen haben gezeigt, dass dieser Ansatz zu nachvollziehbaren und plausiblen Ergebnissen führt.

Testauswertungen zur Prüfung der beiden Ansätze (Mittelwert bzw. neueste Analyse) zeigten, dass im Falle großer Datensätze mit einem geringen Anteil an Werten unter BG bei beiden Ansätzen vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Je weniger Daten einer Auswertung zugrunde liegen bzw. je höher der Anteil an Werten unterhalb der BG ist, desto deutlicher zeigen sich jedoch Diskrepanzen zwischen den verglichenen Vorgehensweisen. Die Abweichung in den Ergebnissen wird dadurch erzeugt, dass man bei der Verwendung von Zeitreihenmittelwerten Werte unterhalb der BG mit dem fiktiven Wert von $\frac{1}{2}$ BG gleichsetzt. Man generiert damit einen intrinsischen Fehler, der sich in der weiteren Auswertung zum einen unterschiedlich stark auswirken und zum anderen das Ergebnis (in diesem Fall das 90. Perzentil) sowohl nach oben als auch nach unten verschieben kann (Beschlussvorlagen zur 3. AK-Sitzung am 14.12.2017; Anhang 35.7). Daher kann diesem Fehler nicht systematisch begegnet werden.

Metallkonzentrationen bewegen sich in Gewässern in der Regel in geringen Konzentrationsbereichen, sodass auch verstärkt mit Angaben $< BG$ zu rechnen ist. Eine Verwendung von Mittelwerten als Eingangswerte ist in diesem Zusammenhang nicht zu empfehlen. Darüber hinaus beschreiben HÖTZL & WITTHÜSER (1999) die Festlegung von Mittelwerten für die statistische Interpretation als Fehlerquelle. Der Einsatz von Einzelmesswerten, insbesondere der neuesten (repräsentativen) Analyse, bildet aus wissenschaftlicher Sicht die korrektere Vorgehensweise; diese wurde, unter Anwendung der zuvor beschriebenen Ausreißerkontrolle, für das Projektvorhaben verwendet.

Statistische Auswertung der Bewertungseinheiten

Liegen ausreichend Messpunkte für die Bearbeitung vor, können die BE für die einzelnen Parameter im Wahrscheinlichkeitsnetz (Kap. 8.1) ausgewertet werden.

Zeigt sich im Wahrscheinlichkeitsnetz eine einheitliche Verteilungsform (vgl. Beispiel in Abb. 10-2), wird davon ausgegangen, dass es sich um eine (Normal-)Population von Daten handelt.

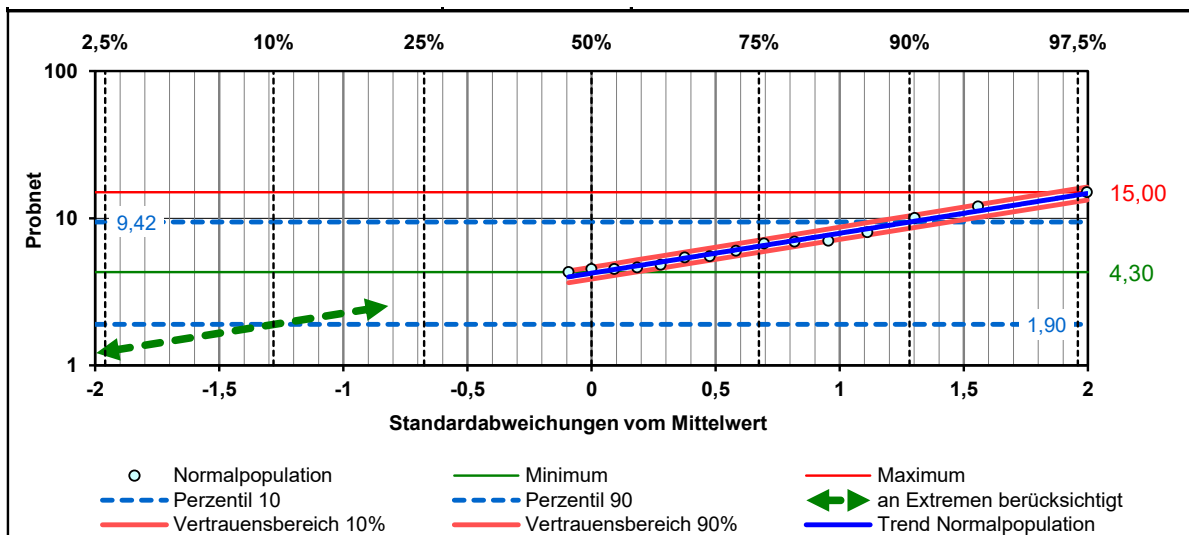


Abb. 10-2: Ergebnisausgabe des Wahrscheinlichkeitsnetzes für den Parameter Zink im Keuper der TEZG Diemel und Weser(Süd)

Die Konzentrationsspanne sowie die Kennwerte der Verteilung werden mit Randdaten (Kap. 9) abgeglichen, die der Plausibilisierung der Ergebnisse dienen. Dazu werden Hintergrundwerte in Gestein, Grundwasser und Boden herangezogen. Die Konzentrationsverteilungen in den einzelnen Kompartimenten sollten näherungsweise miteinander korrelieren. Werden signifikante Abweichungen erkannt, ist den möglichen Ursachen nachzugehen.

Lässt die Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz verschiedene Teilpopulationen in der BE erkennen, sind die Ursachen hierfür zu untersuchen. Dies war bei den meisten der durchgeführten Auswertungen der Fall (vgl. Abb. 10-3).

Dafür wird zunächst ein räumlicher Bezug hergestellt und die Konzentrationsverteilung im GIS abgebildet. Clustern erhöhte Konzentrationsspektren (beispielsweise alle orange markierten Punkte aus Abb. 10-3) in einem Bereich, kann davon ausgegangen werden, dass dort ein signifikanter Eintrag des Parameters erfolgt. Ob es sich um eine geogene oder anthropogene Ursache handelt, ist anhand von Randdaten (Kap. 9) zu prüfen. Informationen zu Bergbautätigkeiten, Einleitstellen oder beispielsweise Deponien können Hinweis auf anthropogene Ursachen für Konzentrationsabweichungen geben. Ebenso lassen Einträge aus dem DPSIR (Kategorie 2 oder 1) parameterspezifisch Rückschlüsse auf Belastungspfade zu. Das IS Erz, Berechtsame oder Lagerstättenkarten ermöglichen Rückschlüsse auf mögliche Erzvorkommen. Weiterführend kann auch das Expertenwissen vor Ort zu Rate gezogen werden.

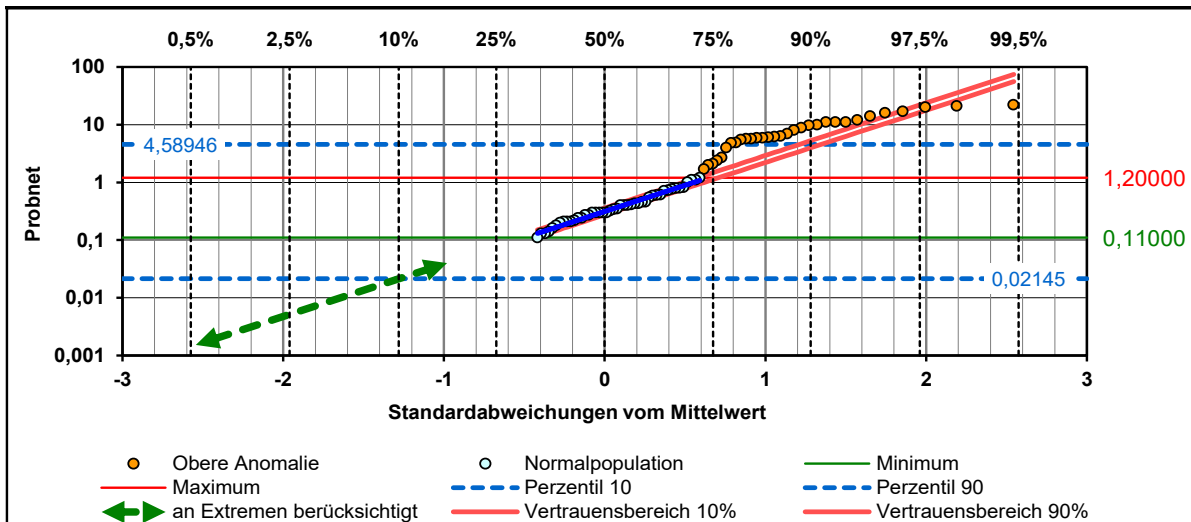


Abb. 10-3: Erste Datenausgabe im Wahrscheinlichkeitsnetz für den Parameter Blei in der BE Sieg(West)_08P11 (paläozoische Schiefer und Sandsteine) – Darstellung zweier Populationen (hellblaue Punkte und orangene Punkte)

Wird eine anthropogene Ursache festgestellt, sind die betroffenen Messpunkte aus der Auswertung auszuschließen (Abb. 10-4). Sind die Konzentrationsabweichungen gegen bedingt, ist die BE weiterführend zu differenzieren und die einzelnen Teilflächen sind separat auszuwerten. Auf diese Weise wird eine Über- bzw. Unterschätzung des natürlichen Hintergrundes in den einzelnen Teilflächen vermieden. Handelt es sich nur um lokal sehr begrenzte geogene Auffälligkeiten, sodass sie nicht in einer ausreichenden Anzahl von Messstellen erfasst werden, kann keine eigenständige Auswertung erfolgen. In diesem Fall sind die betroffenen FWK gesondert zu kennzeichnen.

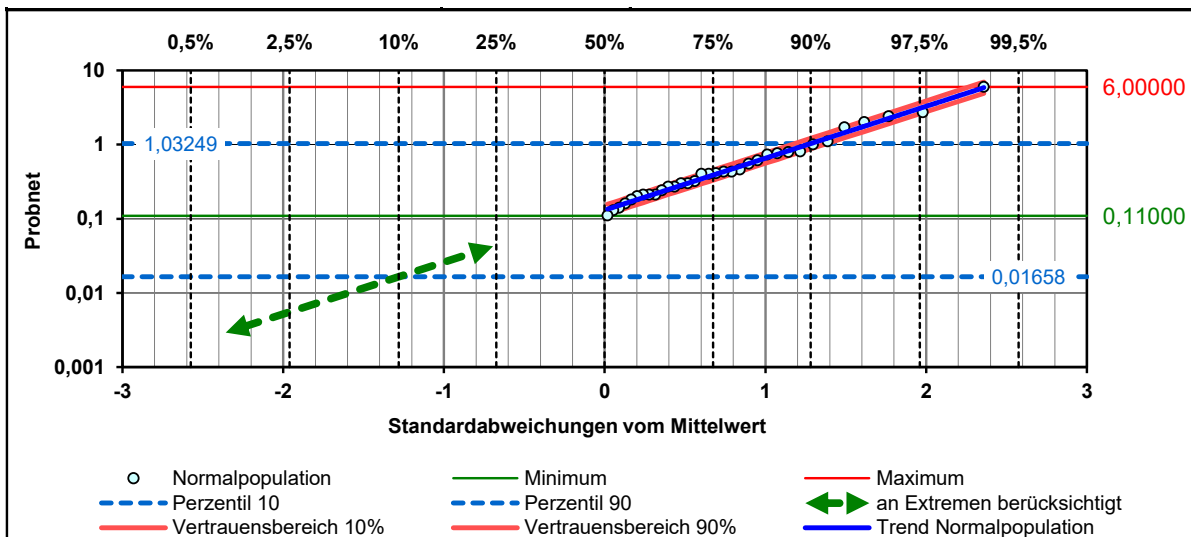


Abb. 10-4: Ergebnisausgabe des Wahrscheinlichkeitsnetzes für den Parameter Blei in der BE Sieg(West)_08P11b (paläozoische Schiefer und Sandsteine) nach Ausschluss anthropogen überprägter Messstellen sowie Differenzierung der BE entsprechend der Teilpopulationen (vgl. Abb. 10-3)

Einen Sonderfall können hier z. B. kleinere Stolleneinleitungen bilden. Sie geben Hinweis auf ein natürliches Vorkommen, welches sich auch im Oberflächengewässer widerspiegeln kann. Durch die Einleitung können die Konzentrationen wiederum überhöht werden, sodass sich die entsprechenden Gewässerabschnitte im Wahrscheinlichkeitsnetz anormal zeigen. Hier kann die obere Anomalie extrapoliert berücksichtigt werden, anstatt sie zur Gänze aus der Auswertung abzutrennen. Auf diese Weise fließt die Lagerstätte weiterhin in die Auswertung mit ein, ohne dass der anthropogene Anteil berücksichtigt wird. Diese Vorgehensweise darf nur erfolgen, wenn von einer geogenen Konzentrationserhöhung im Gewässer auszugehen ist, die nur durch eine verhältnismäßig geringe anthropogene Komponente beeinflusst wird.

Neben der räumlichen Kontrolle auf mögliche Beeinflussungen geben auch mitgeführte ACP der Probe Hinweise auf Belastungen. Besonders im Falle diffuser Einträge, wie z. B. aus der Landwirtschaft, werden die ACP unterstützend herangezogen.

Hintergrundwert der Bewertungseinheit

Die Hintergrundwerte werden als 90. Perzentil der Normalpopulation für eine BE ermittelt. Die Zuordnung der Hintergrundwerte aus den BE zu den einzelnen FWK wird in Kapitel 11 erörtert.

Diskussion – Faktoren, die die Auswertung beeinflussen können

Die Identifizierung der Normalpopulation innerhalb des Gesamtdatensatzes bildet die Grundlage für die Ermittlung der natürlichen Hintergrundkonzentrationen. Verschiedene Faktoren können diesen Prozess jedoch erschweren.

Bei den Wahrscheinlichkeitsnetzen handelt es sich um ein einfaches visuelles Verfahren, bei dem verschiedene Verteilungen/Populationen sich durch die Herausbildung verschiedener Teilgeraden abzeichnen. Kommt es in den Eingangsdaten wiederum zu ‚**Plateaubildungen**‘, lassen sich die Teilgeraden bzw. Knicke nur erschwert identifizieren. Entsprechende Plateaus bilden sich verstärkt bei den Datensätzen der BGR aus (Geochemischer Atlas 1985). Durch die Rundung der gemessenen Konzentrationen auf eine Nachkommastelle ergeben sich Häufungen einzelner Messwerte, sodass sich im Wahrscheinlichkeitsnetz Plateaus herausbilden. Ein vergleichbares Phänomen lässt sich auch bei den Parametern Barium und Bor beobachten. Analysen dieser Parameter werden in Datenbanken verstärkt in mg/l angegeben. Die Orientierungswerte beziehen sich allerdings auf µg/l, sodass eine Umrechnung auf µg/l erfolgt. Durch eine Begrenzung auf beispielsweise zwei Nachkommastellen (z. B. 0,06 mg/l) entstehen auch hier Häufungen einzelner Werte (umgerechnet 60 µg/l), die die Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz beeinflussen können. Im Falle der beschriebenen ‚Plateaubildung‘ war eine besonders intensive Überprüfung der Eingangsdaten während der Auswertung erforderlich, da die Normalpopulation (Teilgerade) in einer visuellen Prüfung hier kaum unmittelbar identifizierbar ist. Zugleich war zu berücksichtigen, dass sich entsprechende Plateaus bis auf die Darstellung der Ergebnisausgabe auswirken und trotz Erfassung der Normalpopulation mitunter nur eine geringe Anpassungsgüte erreicht wird.

In einzelnen Fällen kann trotz einer Präselektion sowie der Nutzung von Randdaten als zusätzliche Informationsquelle eine diffuse anthropogene Beeinflussung nicht ausgeschlossen werden. Eine besondere Schwierigkeit hierbei bilden **flächenhafte Einträge**. Wenn nahezu alle Messstellen einer Einheit durch einen Belastungspfad überprägt sind, zeichnet sich dies im Wahrscheinlichkeitsnetz nicht in verschiedenen Teilgeraden ab. Vielmehr ist eine gesamtheitliche Verschiebung der Verteilung zu höheren Konzentrationen zu erwarten. Dieses Phänomen in der Auswertung zu identifizieren, ist nur bedingt möglich (unterstützende Verwendung der ACP). Hier spielte die Gegenüberstellung der Konzentrationen aus anderen Kompartimenten eine entscheidende Rolle bei der Verifizierung der Ergebnisse (vgl. Abb. 10-1 – Plausibilisierung).

Anomalien, die sich im Wahrscheinlichkeitsnetz abzeichnen, müssen nicht automatisch anthropogenen Ursprungs sein. Eine **bimodale oder mehrgipfelige Verteilung** kann ebenso geogen bedingt sein. Hierbei bilden Lagerstätten eine naheliegende Ursache für erhöhte geogene Gehalte einer BE. Die Zusammenhänge können in der Regel mithilfe wissenschaftlicher Beiträge sowie Kartenwerken detailliert nachvollzogen werden. Doch auch weitere natürliche Faktoren können eine bimodale Verteilung in einer BE bedingen, die zugleich weniger dokumentiert und dadurch schwieriger in der Erfassung sind (z. B. Aufstiege von Tiefenwässern, Pyritoxidation, lokale geochemische Besonderheiten). In entsprechenden Fällen ist die Identifizierung der Anomalie und Auswertung besonders schwierig und zeitaufwendig. Es kann daher nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden, dass bereichsweise auch geogene Anomalien einer anthropogenen Belastung zugeordnet wurden und damit einhergehend abgetrennt wurden.

11 Berechnung der Hintergrundwerte für die Fließwasserkörper

Methodisch bedingt beziehen sich die ermittelten Hintergrundwerte (HGW) auf die einzelnen Bewertungseinheiten (BE). Eine Berücksichtigung der HGW im Sinne der WRRL erfordert allerdings eine wasserkörperscharfe Ausweisung der HGW. Folglich ist ein Übertrag der ermittelten HGW auf die Fließwasserkörper (FWK) vorzunehmen.

Während die BE geochemisch homogene Bereiche abgrenzen, folgen die Geometrien der FWK anderen Kriterien und grenzen die kleinste zu bewirtschaftende Einheit ab (MKULNV & LANUV 2015 b). Ein FWK kann sich somit über verschiedene BE erstrecken und auch der geogene Hintergrund des FWK wird in diesem Fall durch abweichende geochemische Bedingungen bzw. unterschiedliche Einheiten geprägt.

Ansatz

Für die Angabe wasserkörperscharfer HGW ist eine Vorgehensweise festzulegen, um HGW aus homogenen Einheiten (BE) auf heterogene Einheiten (FWK) zu übertragen. Dabei sind grundsätzlich verschiedene Ansätze denkbar:

1. abflussspezifischer Übertrag der HGW auf den FWK
2. Übertrag des HGW auf den FWK, dessen zugehörige BE den größten Flächenanteil an dem FWK einnimmt
3. flächenanteiliger Übertrag aller BE-spezifischen HGW auf den FWK

Um einen abflussspezifischen Übertrag der HGW vornehmen zu können, müssten für alle Gewässer Abflussmessungen vorliegen. Während in großen Gewässern noch vereinzelt Messungen erfolgen, werden besonders in kleineren Gewässern keine Abflusswerte erhoben. Der Ansatz kann aus diesem Grund nicht weiterverfolgt werden.

Der Übertrag des Hintergrundes aus einer BE auf den gesamten FWK beschreibt einen pragmatischen, leicht umzusetzenden Ansatz. Liegen mehrere BE in einem FWK oder verteilen sie sich gleichmäßig über den FWK, ist der Übertrag eines Einzelwertes jedoch zu ungenau und kann nicht als repräsentativ angesehen werden.

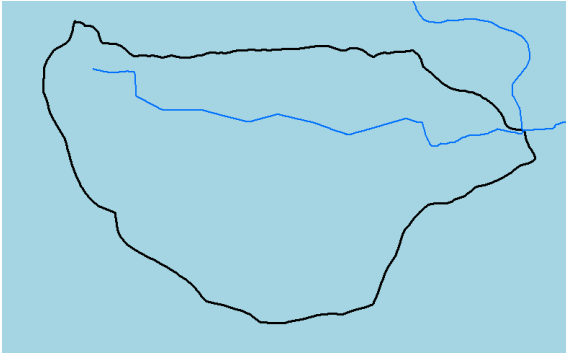
Bei einer flächenanteiligen Berechnung des HGW in FWK fließen alle HGW, die in der Schnittfläche des FWK mit der/den BE vorliegen in die Berechnung mit ein und werden entsprechend ihres Flächenanteils gewichtet. Damit wird das Einzugsgebiet des Wasserkörpers möglichst umfassend berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der Realisierbarkeit und der Repräsentativität der Berechnung wurde eine flächenanteilige Umrechnung der HGW von den BE auf die FWK vorgenommen.

(Berechnungs-)Szenarien

Die Berechnung wird im Folgenden anhand zweier Szenarien in einzelnen FWK beispielhaft und vereinfacht aufgeführt:

1. Beispiel

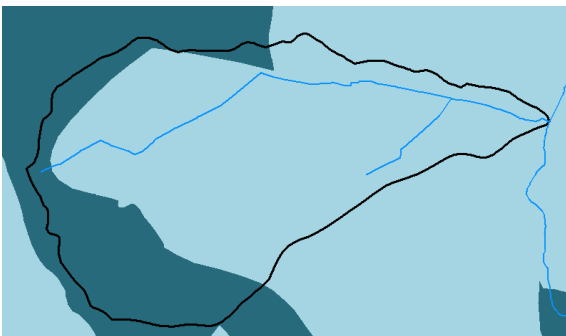


Der FWK (schwarz umrandet) liegt zu 100 % in einer BE (hellblau). Der HGW der BE kann somit zur Gänze auf den FWK übertragen werden:

$$\text{HGW}_{\text{FWK}} = \text{HGW}_{\text{BE}} \cdot 100 \%$$

Abb. 11-1: Beispielhafte Darstellung eines FWK in einer BE

2. Beispiel



Der FWK (schwarz umrandet) erstreckt sich über zwei BE – BE₁ (hellblau) und BE₂ (türkis). 75,2 % des FWK liegen in BE₁ (hellblau). BE₂ (türkis) nimmt 24,8 % der FWK-Fläche ein. Entsprechend der Flächenanteile beider BE ist auch die Berechnung des HGW vorzunehmen:

$$\text{HGW}_{\text{FWK}} = \text{HGW}_{\text{BE1}} \cdot 75,2 \% + \text{HGW}_{\text{BE2}} \cdot 24,8 \%$$

Abb. 11-2: Beispielhafte Darstellung eines FWK, der sich über zwei BE erstreckt

Flächenkriterium

Die Anzahl an BE in einem FWK kann (beliebig) variieren. Im Idealfall sind alle BE mit einem HGW belegt. In Bereichen, in denen eine Auswertung aufgrund einer unzureichenden Datenbasis nicht möglich ist, verbleiben jedoch ‚Fehlflächen‘ (BE ohne HGW).

Um möglichst wenige Informationen beim Übertrag der HGW von den BE auf die FWK zu verlieren, wurde bereits im Rahmen des Erstprojektes im projektbegleitenden Arbeitskreis diskutiert, ob und welche ‚Fehlfläche‘ bei der flächenanteiligen Berechnung vertretbar wäre. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Flächenbelegung von $\frac{2}{3}$ (rund 66 %) der maßgebende geochemische Charakter eines FWK erfasst wird. Eine ‚Fehlfläche‘ von $\frac{1}{3}$ wird somit als vertretbar angesehen und im entsprechenden Fall bei der Berechnung vernachlässigt. Liegen für weniger als $\frac{2}{3}$ der Fläche HGW vor, kann die Berechnung nicht mehr als repräsentativ angesehen werden. Um die Berechnung transparent zu gestalten, wird für die HGW der FWK dokumentiert, auf welchem Flächenanteil sie beruhen (66 bis 100 %).

Teil B – Auswertung und Ergebnisse

12 Einführung

In den folgenden Kapiteln werden die ermittelten Hintergrundwerte (HGW; 90. Perzentile) der Bewertungseinheiten (BE) aufgeführt und kurz erörtert.

Die Darstellung der Ergebnisse ist entsprechend den einzelnen Teileinzugsgebieten (TEZG) aufgegliedert. Für jedes TEZG erfolgt zunächst eine kurze Gebietsbeschreibung sowie eine Auflistung der vorhandenen BE.

Im Schriftteil erfolgt ein kurzer, zusammenfassender Abriss der Gegebenheiten. Umfassende Ausarbeitungen beispielsweise zu Nutzung, Zustandsbewertung der Gewässer oder Belastungspfaden innerhalb der TEZG können in den Steckbriefen zum Bewirtschaftungsplan (2016-2021 und 2022-2027; MKULNV 2015; MULNV 2021 a) nachgelesen werden.

BE mit einer Fläche $< 1 \text{ km}^2$ werden in den folgenden Übersichtskarten nicht abgebildet (Abb. x-3) und auch nicht in den zugehörigen Tabellen mitgeführt. Infolge der geringen Fläche konnte hier keine Auswertung vorgenommen werden. Zudem sind die Auswirkungen entsprechender Bereiche auf die Gewässer in der Regel als vernachlässigbar anzusehen (GREIF & KLEMM 2010).

Liegen einzelne BE nur als schmale Ausbisslinien vor, ist weniger die Gesamtfläche der Einheit, sondern die Lage der Gewässer (und der Gewässermessstellen) in der BE ausschlaggebend dafür, ob eine Auswertung erfolgen kann oder nicht. Verlaufen die Gewässer senkrecht zu den BE und queren diese somit nur in einem kurzen Abschnitt, sind in der Regel nicht ausreichend repräsentative Messstellen vorhanden, um die BE auswerten zu können. In anderen Fällen ist es auch möglich, dass in einer BE keine Gewässer vorliegen, sodass ebenfalls keine Auswertung erfolgen kann. Betroffene BE werden in den jeweiligen Unterkapiteln (x.2) der TEZG aufgelistet.

In Fällen wo die Datendichte für eine Auswertung nicht ausreichend wäre, aber sinnvolle Zusammenfassungen von BE möglich sind – z. B. TEZG-übergreifende Zusammenfassung von BE einer HGC oder Zusammenführung von BE, die ineinander übergehen und in dem betroffenen Bereich geochemisch vergleichbar sind – werden die Auswertungen entsprechend angepasst. Dieses Vorgehen muss in jedem Einzelfall separat evaluiert werden und wird in den folgenden Kapiteln dokumentiert. Sind durch lokale Gegebenheiten weiterführende Differenzierungen von BE erforderlich, wird dies ebenfalls gekennzeichnet.

In den Legenden der Ergebniskarten der BE (Abb. x-4 bis -9) wird das gesamte Konzentrationsspektrum der ermittelten HGW aufgeführt. Konzentrationsbereiche, die im jeweiligen TEZG nicht vertreten sind, sind in der Legende ausgegraut.

In Anhang 35.8 werden beispielhaft mittels Box-Whisker-Plots Übersichten über die Ergebnisse in den HGC gegeben.

Notiz: Die Benennung der BE setzt sich aus der ID der zugrunde liegenden HGC und dem TEZG-Namen in dem sie liegt zusammen; z. B. Emscher_02M3. Weiterführende Differenzierungen der BE werden durch Zusätze wie Ost-/West-/... oder a/b/c, ... kenntlich gemacht. Bei Anführungen von BE in den Unterkapiteln der TEZG wird i.d.R. auf die vorgeschaltete Nennung ‚TEZG_...‘ verzichtet – es wird also z. B. anstelle von Emscher_02M3 nur 02M3 aufgeführt. BE ohne vorgeschaltetes TEZG sind immer eindeutig dem (in diesem Kapitel behandelten) TEZG zugewiesen, wird die BE eines anderen TEZG angesprochen wird dies wiederum konkret benannt.

13 Rur und Sonstige Maaszufüsse, Süd

13.1 Gebietsbeschreibung

Die beiden untersuchten TEZG – Rur und Sonstige Maaszufüsse, Süd (MSS) – besitzen in der Summe eine Flächengröße von 2 372 km². Der Gesamtbereich wird durch eine naturräumliche Zweigliederung geprägt, deren Ursache in der unterschiedlichen Genese und der unterschiedlichen Geologie begründet ist. Die in Abbildung 13-1 wiedergegebene physische Karte und die Darstellung der Geologie in Abbildung 13-2 verdeutlichen dies. Den morphologisch flachen Bereich, in etwa nördlich der Linie Würselen – Eschweiler – Kreuzau, nehmen die Lockergesteine der Niederrheinischen Tieflandbucht ein (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016); hier überwiegt die landwirtschaftliche Nutzung. Im südlichen, zum Mittelgebirge (Eifel) gehörenden Bereich stehen die Festgesteine des Rheinisches Schiefergebirges und der Südwestdeutschen Trias (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016) an. Diese werden von großflächiger Waldverbreitung dominiert.

Bedingt durch die in der Eifel vorherrschenden klimatischen Randbedingungen sind dort andere Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozesse, d. h. Stoffumsätze, zu erwarten als im Flachland. Wesentlich höhere Niederschläge, das starke Relief und andere Grundwasserleitertypen (im Wesentlichen Grundwassergeringleiter) führen in der Eifel zudem zu einem gänzlich anderen Drainagenetz als im Flachland. Bei hohen Niederschlagssummen ist der Anteil des Oberflächen- und des Zwischenabflusses (Interflow) am Gesamtabfluss hier groß, die Grundwasserneubildung ist meist nur gering. Das oberflächennahe Grundwasser und der Interflow strömen im Verwitterungs- und Auflockerungsbereich der Gesteine hangparallel ab und treten am Hangfuß in Form zahlreicher Quellen aus.

Der Flachlandbereich des hier beschriebenen Gebietes ist von gut durchlässigen Porengrundwasserleitern geprägt. Im Vergleich zur Eifel herrscht bei erheblich weniger Quellaustritten und einem weniger dichten Netz an Oberflächengewässern eine relativ hohe Grundwasserneubildung vor. Das Grundwasser weist in der Regel deutlich höhere Verweil- und Fließzeiten im Untergrund auf, bevor es in die Oberflächengewässer übertritt (WENDLAND et al. 2019). Dies und die Art der grundwasserüberdeckenden Schichten (tonig-schluffig, sandig), wirken sich hier maßgeblich auf die natürlichen Hintergrundkonzentrationen aus. Die zuvor für die beiden Bereiche beschriebenen Systemzusammenhänge und die daraus resultierenden Effekte werden zum Teil noch durch die unterschiedlichen Nutzungsstrukturen verstärkt.

Das Gewässernetz wird im Festgesteinsbereich durch die Hauptgewässer Rur und Inde sowie die Nebengewässer Vichtbach, Wehebach, Kall, Urft und Olef bestimmt. Daneben existiert noch eine Vielzahl an tributären Bächen. Eine Besonderheit sind die in diesem Raum vorhandenen Talsperren, die der Trinkwasserversorgung und der Stromerzeugung dienen und zum Teil über Stollen zu einem Verbundsystem vernetzt sind. Hier finden sich auch vielerorts ehemalige Standorte des Erzbergbaus, von welchen Beeinflussungen der Gewässer ausgehen können.



Abb. 13-1: TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

Der Lockergesteinsbereich wird im Wesentlichen durch die Unterläufe von Rur, Inde und Wurm sowie des Rodebachs entwässert. Die Mehrzahl der Haupt- und Nebengewässer hat Vorflutfunktion, d. h. sie

weisen Grundwasseranschluss auf. Ein Teil der Gewässer ist künstlich verändert, einige sind durch Einleitungen von Sumpfungswässern aus der Braunkohlegewinnung beeinflusst.

Geologie/Hydrogeologie

Der südliche Festgesteinsbereich wird von gefalteten, meist silikatischen Tonschiefern, Schluffsteinen und Sandsteinen des Paläozoikums (Kambrium bis Devon) dominiert. Geringere Ausstrichbereiche werden von mittel- bis oberdevonischen sowie karbonzeitlichen Karbonatgesteinen eingenommen. Bei den Karbonaten handelt es sich sehr häufig um Dolomite.

Die Karbonatgesteine stellen Karstgrundwasserleiter dar. In Ausbissen oder vor querschlägigen Störungen entspringen ihnen oft Karstquellen. Auch die Aachener Thermal- und Mineralwässer steigen über verkarstete Karbonatzüge und im Streichen verlaufende Störungen auf. Aufgrund ihrer Herkunft aus 3 000 bis 4 000 m Tiefe und der langen Verweildauer im Untergrund weisen sie extrem hohe Schwermetallkonzentrationen auf, die vor Ort die Gewässerbeschaffenheit beeinflussen.

Im Südosten sind randlich, auf den gefalteten paläozoischen Einheiten diskordant aufliegend, Gesteine des Maubach-Mechernicher Triasdreiecks verbreitet. Es handelt sich um Konglomerate, Sandsteine und Tonsteine des Buntsandsteins und untergeordnet Tonsteine, Sandsteine sowie Dolomite des Muschelkalks und Keupers. Die triassischen Einheiten bilden eine leicht nach Osten einfallende Senkungsstruktur aus. Daher erfolgt der Hauptteil ihres Grundwasserabstroms zur Niederrheinischen Bucht hin; jedoch gibt es aus dem Buntsandstein randlich auch eine Entwässerung nach Westen zur Rur hin, die sich in diversen Quellaustritten äußert.

Im Westen bedecken im Bereich des Dreiländerecks Kalk- und Mergelsteine sowie Sande der Oberkreide den paläozoischen Untergrund. Sie fallen vom Hebungszenrum der Eifel und des Hohen Venns aus flach nach Nordwesten ein (RIBBERT 1992). An ihrer Basis treten zahlreiche Quellen aus.

Der gesamte nördliche Teil des Untersuchungsraumes wird im Wesentlichen durch quartärzeitliche fluviatile Terrassenkiese und -sande geprägt. Daneben nehmen auch marine Feinsande, Schluffe und Tone des Tertiärs (zum Teil mit Braunkohle) große Flächen ein. Die Lockergesteine werden überwiegend von bindigen Deckschichten, z. B. in Form von Lösslehmen oder Hochflutlehmen, überlagert. Nach Westen hin geht die Überlagerung bereichsweise in Sandlöss und Flugsand über.

Sowohl im Flachland als auch im Bergland sind geologische/bodenkundliche Einheiten mit hohen organischen Anteilen verbreitet. So liegen mehrere Gewässeroberläufe und Quellgebiete von Gewässern in der Eifel in Hochmooren mit speziellen, die Mobilisierung von Schwermetallen begünstigenden hydrogeochemischen Verhältnissen. Im Flachlandbereich sind gewässerbegleitend Anmoor- und Niedermoorgebiete sowie ausgeprägte Auen vorhanden, welche im Zusammenhang mit den zu betrachtenden Metallen ebenfalls von Relevanz sind.

In dem hier beschriebenen Gebiet liegen insgesamt betrachtet überwiegend bindige, d. h. schluffig-sandige bis tonige Böden vor. Nach Nordwesten hin wird die Bodenbedeckung zunehmend sandiger.

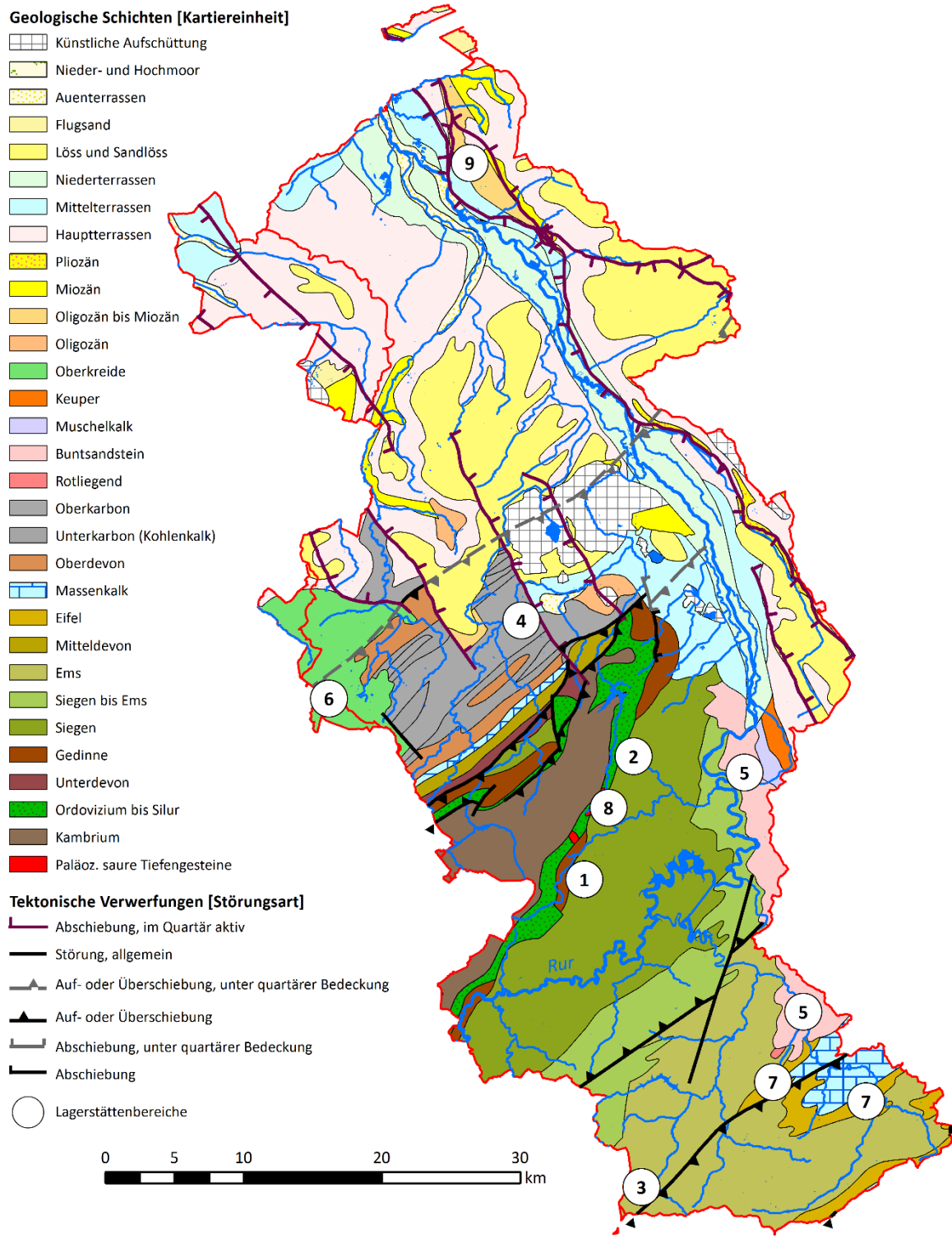


Abb. 13-2: Geologie und Lagerstätten in den TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

Lagerstätten und Mineralisation

Die beschriebenen Gesteine haben unterschiedliche geogene Vorprägungen in Bezug auf die im Projekt zu untersuchenden Parameter. In den Tonsteinen des Schiefergebirges liegen aufgrund ihrer Genese per se erhöhte Schwermetallgehalte vor; anoxische Milieubedingungen führten hier zur Bindung von Schwermetallen in den ursprünglichen marinen Sedimentschlammern (VOGTMANN & SCHEPS & FRIEDRICH 1986 b). VOGTMANN & SCHEPS & FRIEDRICH (1986 a) ermittelten bei der Untersuchung der Geochemie und Sulfidführung in Schwarzschiefern am Beispiel der Inde-Mulde Buntmetallgehalte, die zum Teil deutlich über den allgemein in Tonsteinen zu erwartenden (erhöhten) Konzentrationen liegen (MERKEL & SPERLING 1998; WEDEPOHL 1995). Im Zusammenhang mit der Schieferung kam es häufig zur Mobilisierung von Schwermetallen und Auskristallisation in Form von makroskopisch erkennbaren Erzmineralneubildungen in den dunklen Tonschiefern. In den mesozoischen Tonsteinen und den tertiärzeitlichen Tonen sind ebenfalls im Vergleich zu den Sand- bzw. Sandstein-dominierten BE erhöhte Metallkonzentrationen zu erwarten (HORNBURG 2003).

Das Stoffinventar der Gesteine als Ausgangssubstrat für die Bodenbildung prägt somit die zu erwartenden natürlichen Metallgehalte in den Böden und in den Bodensickerwässern. Dabei ist in der Regel eine Zunahme der Stoffkonzentrationen von sandigen über sandig-schluffige, schluffig-sandige zu tonigen Bodenarten zu beobachten (LABO 2003; FELDWISCH & LENDVACZKY 2015). Detaillierte Untersuchungen von Böden aus holozänen Auenlehmen am Beispiel des Unterlaufs der Inde liegen mit der Arbeit von SCHMIDT-WYGASCH (2011) vor. Darin wurden HGW für die Auensedimente abgeleitet und eine anthropogen induzierte Zunahme bei Blei und Zink mit der Verjüngung der Sedimente belegt.

In den TEZG Rur und MSS sind zahlreiche Erzlagerstätten bekannt, in denen zum Teil in historischer Zeit (vorrömisch bis ca. Mitte des 18. Jahrhunderts) und auch in industrieller Zeit Erze gewonnen wurden. In Abbildung 13-2 sind die im Folgenden aufgeführten Lagerstättenbereiche mit Zahlen versehen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Buntmetall- und Eisenerzlagerstätten. Daneben ist in der Eifel in historischer Zeit ebenfalls Silber- und Goldabbau belegt (GD NRW 2010). Die unterschiedlichen Arten der Entstehung der Lagerstätten führten zu verschiedenen Vererzungstypen mit jeweils spezifischen Mineralparagenesen.

Die variszischen (mit der variszischen Gebirgsbildung) und postvariszisch entstandenen Buntmetallvererzungen in der Eifel werden ausführlich bei KRAHN (1988), KRAHN & FRIEDRICH (1991), REDECKE (1992), REPPKE (1993) und GERMANN & FRIEDRICH (1999) beschrieben.

Zu den variszischen Lagerstätten gehören die in Abbildung 13-2 dargestellten **Brandenberger Erzzüge** (Markierung 1), die Vorkommen im **Raum Simonskall – Hürtgen – Großhau** (Markierung 2) und die **Bleialf-Rescheider Erzzüge** (Markierung 3). Hier wurden die in den Gesteinen gebundenen Metalle infolge des Temperatur- und Druckanstiegs mobilisiert und in Südwest – Nordost streichenden Gängen angereichert. Eine wesentliche Rolle spielten dabei auch die Schwefel- und Organikgehalte der Gesteine.

Der **Aachen-Stolberger Erzbezirk** und der **Erzbezirk von Maubach – Mechernich** (Abb. 13-2: Markierungen 4 u. 5) zählen zu den postvariszischen Lagerstätten; sie sind auf die Aufstiege von hydrothermalen Lösungen aus dem tieferen Untergrund im Zusammenhang mit einer Schwächezone in der Erdkruste (hier die Eifeler Nord-Süd-Zone) zurückzuführen. Die Vererzungen sind an Nordwest – Südost verlaufende Störungen geknüpft und haben von dort aus auch über ältere, im Streichen verlaufende Überschiebungen die Karbonatgesteine des Devons und des Unterkarbons vererzt. Bei der Platznahme der Buntmetallerze wurde die durch die Dolomitisierung der Karbonate (Austausch von Calcium durch Magnesium) entstandene Porosität von bis zu 13 Vol. % genutzt (GERMANN & FRIEDRICH 1999).

Im Raum Maubach – Mechernich sind die hydrothermalen Lösungen in die Porenräume der überlagernden Sandsteine und Konglomerate des Buntsandsteins eingedrungen; es handelt sich hier um eine Imprägnationslagerstätte, untergeordnet treten auch gangförmige Vererzungen auf. Die in der Literatur am häufigsten genannten Erze sind Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Pyrit und Bravoiit (nickelhaltige Varietät des Pyrits). In Spätphasen der hydrothermalen Aufstiege tritt verstärkt Baryt auf. Mit den genannten Erzen sind auch andere für das Untersuchungsprojekt relevante Metalle, wie z. B. Cadmium, Kobalt, Arsen, Silber, vergesellschaftet.

Die **Galmeilager bei Aachen und Kelmis** (Abb. 13-2: Markierung 6) stellen eine sekundäre Lagerstätte dar, die aus den zuvor genannten Buntmetallerzen durch Verwitterung und Umlagerung entstanden ist. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Zinkminerale, die hier wie auch in den übrigen Lagerstätten immer von einem relevanten Anteil an Cadmium begleitet sind.

Bei dem Roteisenerzlager im **Eifeler Roteisensteinbezirk** (Abb. 13-2: Markierung 7) handelt es sich um primäre, marin-sedimentäre Eisenerze (SIMON 1979). Diese treten in unterdevonischen Gesteinseinheiten in Form von 3 – 4 m mächtigen, flözförmigen Eisenoolithen auf. Die Oolithe bestehen aus Ooiden, das sind in der Wasserphase um Kristallisationskerne entstandene Erzkonkretionen, ähnlich den rezenten Manganknollen.

Die **Tonalitporphyre und Quarzdiabasgänge der Rureifel** (Abb. 13-2: Markierung 8) sind altpaläozoische saure Tiefengesteine, die unter anderem hohe Kupfergehalte führen (KEYSSNER & SCHEPS & FRIEDRICH 1986). Sie werden als eine Lagerstätte vom Porphyry-Copper-Typ beschrieben (VAN WAMBEKE 1956 a, 1956 b). Quantifizierungen der Kupfergehalte auf belgischer Seite ergaben Kupfererzvorräte in abbauwürdiger Menge (SUTPHIN et al. 2010). Daneben sind in diesen Gesteinen auch andere Buntmetalle, wie Kobalt, Nickel sowie Silber und Molybdän, enthalten.

Darüber hinaus existiert im Flachlandbereich noch verschiedenes aufrechterhaltenes Bergwerkseigentum (Berechtsame) zur Gewinnung von Erzen in größerer Teufe, wie z. B. das des **Blei-Zink-Bergwerkes Sophia-Jacoba** (Abb. 13-2: Markierung 9). Für die Projektfragestellung ist dies jedoch nicht von Relevanz. Des Weiteren sind in den Auenbereichen auch Vorkommen von **Raseneisenerzen** nachgewiesen.

13.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 13-3 und Tabelle 13-1 wird ein Überblick über die in den TEZG Rur und MSS abgegrenzten BE gegeben.

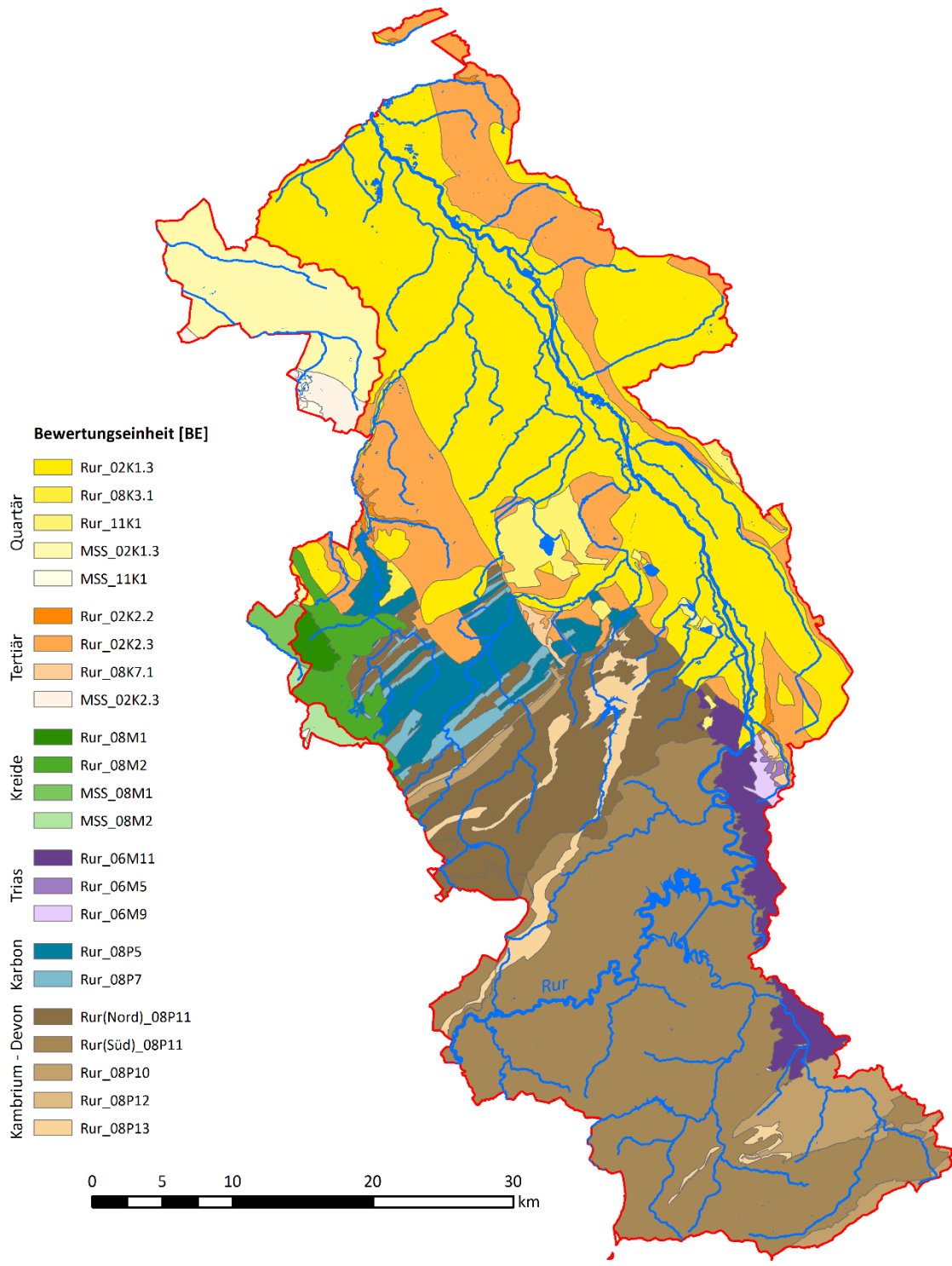


Abb. 13-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

Tab. 13-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten in den TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

Rur_		Fläche [km²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	677,2
08K3.1	quartäre Sande und Kiese	3,1
02K2.2	Braunkohlentertiär	5,4
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	267,8
08K7.1	tertiäre Sedimente	5,7
08M1	Oberkreide, karbonatisch	8,4
08M2	Oberkreide, silikatisch	38,4
06M11	Buntsandstein, ungegliedert	53,7
06M5	mittlerer und oberer Keuper, klastisch	1,7
06M9	Muschelkalk ungegliedert, karbonatisch-klastisch	4,9
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	79,7
08P7	karbonische Karbonate	24,5
08P10	paläozoische Karbonate	69,8
(Nord)_08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	192,4
(Süd)_08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	575,1
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	4,0
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	47,5
11K1	Quartär, anthropogen (Tagebaubereiche)	39,7
MSS_		
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	103,1
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	13,0
08M1	Oberkreide, karbonatisch	8,5
08M2	Oberkreide, silikatisch	8,5
11K1	Quartär, anthropogen (Tagebaubereiche)	2,0

Die BE 02K2.2 und 08K7.1 nehmen im Vergleich zu 02K2.3 nur sehr geringe Flächenanteile ein, sodass parameterabhängig keine ausreichende Datendichte vorliegt. Daher wurden im Fall der Bestandsparameter die Datensätze der drei genannten tertiären BE aggregiert und gemeinsam ausgewertet. Die kleinflächig verbreiteten, gering mächtigen quartärzeitlichen Lockergesteinsbedeckungen auf den Einheiten des Großraums 08 (BE 08K3.1) wurden der jeweiligen liegenden BE zugeordnet.

Die BE 06M11 im TEZG Rur wurde weitestgehend mit den Datensätzen dieser BE innerhalb des TEZG Erft (Kap. 16.2) zusammen ausgewertet, da ansonsten kein HGW zu ermitteln gewesen wäre. Im Fall von Mangan erfolgte hier eine gemeinsame Auswertung des TEZG Rur mit den TEZG Ahr, Erft und Kyll.

Für die BE 08P11 wurde eine Differenzierung in einen Nord- und einen Südteil vorgenommen. Die Notwendigkeit hierzu ergab sich aus den hauptsächlich im Nordteil vorhandenen, die Geochemie der Gewässer stark prägenden Erzlagerstätten. Bei Verwendung des gesamten Datensatzes spiegelte sich dies im Wahrscheinlichkeitsnetz deutlich in zwei Teilpopulationen wider.

Die BE 06M5 hat nur einen kleinräumigen Ausbiss, sodass Gewässer die Einheit nur in einem kurzen Stück anschneiden und kaum oder keine repräsentativen Messstellen für die BE existieren. Daher konnte

an dieser Stelle keine Auswertung vorgenommen werden. Ebenfalls nicht ausgewertet wurden die anthropogenen Flächen der BE 11K1.

13.3 Ergebnisse

In Tabelle 13-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 13-4 bis 13-9 in Karten dargestellt.

In der Gesamtbetrachtung der HGW fallen vor allem die tertiären BE (02K2.2, 02K2.3, 08K7.1), der nördliche Teil der paläozoischen Schiefer (Nord_08P11) und die quartäre BE im TEZG MSS (02K1.3) auf, da hier die ermittelten HGW am häufigsten über den Beurteilungswerten liegen.

Die HGW sind im Tertiär erwartungsgemäß lithologiespezifisch relativ hoch (Ton, Braunkohle); dies gilt für viele Parameter auch für die karbonischen Ton- bis Sandsteine (BE 08P5). Zusätzlich nehmen aber auch Vererzungen (z. B. Blei-/Zinkerzgänge des Aachen-Stolberger Erzrevier; s. Abb. 13-2) Einfluss auf die natürlichen Konzentrationen in BE 08P5. Die in der BE Nord_08P11 (paläozoische Schiefer und Sandsteine) und der BE 08P13 (paläozoische Sandsteine und Quarzite) ermittelten HGW sind im Wesentlichen auf die dortigen ausgedehnten Erzlagerstätten zurückzuführen. Aber auch lagerstättenfern liegen in den altpaläozoischen Tonschiefern und Phylliten der BE 08P11 relativ hohe Schwermetallgehalte vor. Im zentralen bis südlichen Teil der BE Nord_08P11 und 08P13 existieren zudem zahlreiche Hochmoore, welche eine Mobilisierung der Schwermetalle aus den Gesteinen begünstigen. Die Parameter Cadmium, Kobalt, Mangan, Nickel, Blei und Zink weisen ihren jeweils höchsten HGW des TEZG in den genannten Einheiten auf.

Bei dem Zink-HGW für die BE Nord_08P11 handelt es sich mit 132 µg/l um den höchsten im gesamten Projekt ermittelten HGW für den Parameter Zink. In der Auswertung wurde hier der nach der vorgeschalteten Präselektion noch vorliegende Ausgangsdatensatz von über 100 Daten (mit einem Maximalwert von 350 µg/l) durch Abschneiden einer oberen und einer unteren Anomalie zusätzlich auf die Hälfte reduziert. Der letztendlich ausgewertete Datensatz (mit einem Maximalwert von 160 µg/l) beinhaltet viele Analysen aus den unbeeinflussten Oberläufen der Gewässer, in denen relativ hohe natürliche Konzentrationen vorliegen.

In den Quellen – als Schnittstellen zwischen Grundwasser und dem im Projekt zu untersuchenden Oberflächenwasser – zeigen sich in der Eifel oft die höchsten Stoffkonzentrationen. Dabei wurde im Rahmen der Auswertung häufig der Effekt beobachtet, dass die hohen Konzentrationen der Quellen im weiteren Gewässerverlauf durch die prozentuale Zunahme an Oberflächenabflusswasser gegenüber dem grundwasserbürtigen Anteil verdünnt werden, d. h. die gemessenen Konzentrationen nehmen unterstromig ab.

Die auffälligen Cadmium-HGW korrespondieren mit den Zink-Werten. In den hierfür verantwortlichen Erzen tritt Cadmium als Vertreter derselben Gruppe des Periodensystems immer als Begleiter des Zinks

auf, bzw. ersetzt Zink in einem mehr oder weniger konstanten Verhältnis. Dies spiegelt sich weitestgehend auch in einem Vergleich der ermittelten Cadmium- und Zink-HGW wider.

Die auffälligen HGW in der BE MSS_02K1.3 lassen sich mit dem Stoffbestand der quartärzeitlichen Sedimente im Kontext der dort vorliegenden überwiegend sandigen Bedeckung und ihrem geringen Puffervermögen erklären.

Als weitere Auffälligkeit sind die ermittelten Barium-HGW zu nennen. In den tertiären BE resultieren diese aus den marinen Einflüssen innerhalb der Sedimente. Hiervon werden bereichsweise auch die quartären BE durch den Zutritt von älterem tertiärzeitlichem Grundwasser beeinflusst.

Mit 281 µg/l wurde ein relativ hoher Barium-HGW für die Buntsandstein-BE (06M11), welche gemeinsam mit den Daten der gleichen BE des TEZG Erft ausgewertet wurde, ermittelt. Der HGW im Grundwasser liegt hier bei 390 µg/l (HGW Gw 2012), der nationale Basiswert (= flächengewichtetes Mittel über alle Grundwasser-HGC) beträgt 157 µg/l (BERGMANN et al. 2015).

Baryt (Schwerspat, Bariumsulfat) tritt im Erzbezirk von Maubach – Mechernich eher untergeordnet auf, und zwar meist im Bereich von Verwerfungen. Dort wurde er früher von Bergleuten als Leitmineral bei der Gewinnung von Zinkblende (Zinkspat, Zinksulfid) genutzt (STADLER 1977). Eine weitere, quasi flächenhaft wirksame Barium-Quelle stellt die Zersetzung der Buntsandstein-Feldspäte dar, da in den Kalifeldspäten zum Teil Kalium durch Barium ersetzt ist. Das Barium gelangt so in Sicker- und Porenwässer und damit in den Wasserkreislauf. Durch das bei der Oxidation der Bleierze frei werdende Sulfat kann Baryt auch als authigene Verwitterungsbildung wieder ausgefällt werden. Die beschriebene Verwitterung wird besonders dort augenfällig, wo der Buntsandstein nahezu Lockergesteinscharakter aufweist. Aufgrund vergleichbaren Stoffbestandes und vergleichbarer Mobilisierungsprozesse stellen landesweit betrachtet die triassischen Gesteine und die Gesteine des Perms die stärksten geogenen Barium-Emissionsquellen dar.

Mit 1,39 µg/l fallen die höchsten Uran-HGW im TEZG in die kreidezeitlichen BE (08M1 und 08M2). Innerhalb der Maastricht-Formation (Oberkreide) wurden beispielsweise durch MOTTEQUIN et al. (2012; bei Waremme in Belgien) sowie durch ROBASZYNSKI (2006; im Raum Lüttich nahe dem Dreiländereck bei Aachen) Phosphoritkonkretionen nachgewiesen. Nach WEDEPOHL (1969) weisen marine Phosphorite weltweit hohe Uran-Gehalte zwischen 50 und 300 ppm auf. Es kann ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Phosphoritkonkretionen bei Aachen und den erhöhten Uran-HGW vermutet werden.

Tab. 13-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Rur												MSS		
		02K1.3	02K2.2 02K2.3 08K7.1	08M1 08M2	06M11	06M9	08P5	08P7	08P10	(Nord) 08P11	(Süd) 08P11	08P12	08P13	02K1.3	02K2.3	08M1 08M2
Ag	n > BG	10														
	50. P.	0,006														
	90. P.	0,011	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,017														
As	n > BG	24	13	12	13			9	17	23		13	8	13	12	
	50. P.	0,6	0,7	0,5	0,1			0,4	0,4	0,3		0,5	0,8	0,7	0,5	
	90. P.	1,2	1,1	1,3	0,6	n.a.	n.a.	0,5	0,9	0,6	n.a.	0,9	1,0	1,1	1,3	
	Max. N.	1,1	1,2	1,6	2,4			0,6	1,2	0,6		1,1	1,0	1,2	1,6	
B	n > BG	10	5							24	24				6	
	50. P.	38,3	34,2							12,0	12,0				9,7	
	90. P.	46,6	41,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	31,4	31,4	n.a.	17,8	n.a.	n.a.	
	Max. N.	50,0	41,0							42,0	42,0		14,0			
Ba	n > BG	45	14	11	13		10	16	16	38	48	16	20	8	11	
	50. P.	29,6	43,6	20,3	60,8		23,3	12,9	12,9	21,8	20,4	12,9	17,1	37,8	20,3	
	90. P.	50,8	68,8	30,7	281,0	n.a.	26,3	34,5	34,5	39,4	53,2	34,5	35,1	71,3	n.a.	
	Max. N.	64,0	66,0	32,0	330,0		27,0	38,0	38,0	55,0	140,0	38,0	42,0	69,0	32,0	
Be	n > BG	10								18	18				8	
	50. P.	0,05								0,06	0,06				0,02	
	90. P.	0,09	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,11	0,11	n.a.	0,10	n.a.	n.a.	
	Max. N.	0,11								0,14	0,14		0,20			
Cd	n > BG	20	18	9	9		6		6	29	37		11	9	18	
	50. P.	0,03	0,10	0,03	0,03		0,15		0,02	0,35	0,04		0,14	0,10	0,10	
	90. P.	0,06	0,72	0,06	0,08	n.a.	0,52	n.a.	0,04	1,29	0,28	n.a.	0,63	0,32	0,72	
	Max. N.	0,09	1,02	0,07	0,09		0,50		0,03	1,70	1,00		1,40	0,33	1,02	
Co	n > BG	25	10	6			10			16	22		9	8	10	
	50. P.	0,3	0,3	0,1			0,2			0,7	0,1		0,3	0,5	0,3	
	90. P.	0,8	0,9	0,7	n.a.	n.a.	0,4	n.a.	n.a.	3,7	0,3	n.a.	0,9	2,7	0,9	
	Max. N.	1,0	0,9	1,0			0,5			6,0	0,5		0,9	2,9	0,9	
Cr	n > BG	14	12							11	11		11			
	50. P.	0,2	0,4							0,1	0,3		0,3			
	90. P.	0,6	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6	0,5	n.a.	0,5	n.a.	n.a.	
	Max. N.	0,9	1,0							1,2	0,6		0,6			
Cu	n > BG	27	29	12	11		16	35	35	91	43	35	51	15	29	
	50. P.	2,3	2,5	1,3	2,1		2,5	1,2	1,2	1,6	1,6	1,2	1,6	2,8	2,5	
	90. P.	4,1	6,2	3,1	5,2	n.a.	5,1	3,6	3,6	3,1	3,5	3,6	2,9	5,8	6,2	
	Max. N.	5,0	9,0	3,4	6,0		6,3	6,4	6,4	3,9	2,7	6,4	4,2	7,5	9,0	
Fe	n > BG	58	18	7	19		12			13	30	38	22	10	18	
	50. P.	0,3	0,5	0,2	0,1		0,2			0,1	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	
	90. P.	0,8	1,6	0,8	0,4	n.a.	0,5	n.a.	0,3	1,4	0,9	n.a.	1,1	0,9	1,6	
	Max. N.	1,3	2,4	0,9	0,9		0,7			0,9	1,0		2,4	0,9	2,4	
Hg	n > BG	14								10	10					
	50. P.	0,002								0,007	0,007					
	90. P.	0,008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,009	0,009	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.	0,030								0,010	0,010					

Fortsetzung von Tabelle 13-2

Parameter	Kennwert	Rur												MSS		
		02K1.3	02K2.2 02K2.3 08K7.1	08M1 08M2	06M11	06M9	08P5	08P7	08P10	(Nord) 08P11	(Süd) 08P11	08P12	08P13	02K1.3	02K2.3	08M1 08M2
Mn	n > BG	29	9	7	18	7	9		8	30	75		16			7
	50. P.	40,2	23,0	14,7	1,3	22,1	64,6		18,5	58,9	22,5		48,3			14,7
	90. P.	86,9	146,8	61,6	62,5	51,7	206,8	n.a.	30,4	151,9	140,7	n.a.	289,8	n.a.	n.a.	61,6
	Max. N.	160,0	440,0	71,0	165,0	63,0	160,0		45,0	320,0	680,0		250,0			71,0
Mo	n > BG	41	8				10		10	14	13	14	13			
	50. P.	0,4	0,3				0,3		0,0	0,1	0,0	0,1	0,0			
	90. P.	1,7	1,4	n.a.	n.a.	n.a.	1,1	n.a.	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,1	1,1				1,9		0,6	0,5	0,3	0,5	0,3			
Ni	n > BG	57	10	8			11			42	30		18	7		8
	50. P.	2,5	2,8	1,4			2,7			4,3	1,9		3,0	2,8		1,4
	90. P.	4,9	5,0	1,9	n.a.	n.a.	4,9	n.a.	n.a.	8,2	3,5	n.a.	6,8	4,8	n.a.	1,9
	Max. N.	7,4	4,5	2,4			5,0			10,6	6,6		9,4	4,4		2,4
Pb	n > BG	42	14				15	8	8	34	33	8	17	8		
	50. P.	1,0	0,7				4,7	0,1	0,1	1,9	0,4	0,1	1,0	0,9		
	90. P.	2,9	3,7	n.a.	n.a.	n.a.	6,4	1,6	1,6	5,6	2,3	1,6	3,2	1,5	n.a.	n.a.
	Max. N.	4,0	7,2				7,0	4,0	4,0	11,0	8,5	4,0	6,0	1,7		
Se	n > BG	6		6												
	50. P.	0,2		0,9												
	90. P.	0,6	n.a.	1,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,4		1,2												
SO ₄	n > BG	14	28	22	12		14	17	17	34	130	17	16	14	28	22
	50. P.	47,5	59,0	70,8	13,3		40,1	20,3	20,3	21,1	11,7	20,3	16,5	73,8	59,0	70,8
	90. P.	66,3	120,3	87,4	31,3	n.a.	70,6	33,5	33,5	43,1	18,7	33,5	25,4	100,0	120,3	87,4
	Max. N.	78,0	150,0	87,4	56,0		63,8	36,0	36,0	68,0	24,0	36,0	31,0	100,0	150,0	87,4
Ti	n > BG															
	50. P.															
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.															
Tl	n > BG	10	8							12	12		9	6		
	50. P.	0,02	0,01							0,02	0,02		0,01	0,02		
	90. P.	0,06	0,05	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,04	0,04	n.a.	0,03	0,04	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,08	0,11							0,05	0,05		0,06	0,05		
U	n > BG	45	38	9			19	19	19	26	15	19	12	5		9
	50. P.	0,12	0,18	0,77			0,19	0,41	0,41	0,04	0,04	0,41	0,04	0,05		0,77
	90. P.	0,40	0,79	1,39	n.a.	n.a.	0,38	0,59	0,59	0,15	0,10	0,59	0,07	0,20	n.a.	1,39
	Max. N.	0,59	2,60	1,30			0,36	0,72	0,72	0,46	0,14	0,72	0,09	0,27		1,30
V	n > BG	27	9		6					13	13			8	9	
	50. P.	0,8	0,8		1,0					0,5	0,5			1,6	0,8	
	90. P.	1,4	2,3	n.a.	1,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,4	1,4	n.a.	n.a.	3,8	2,3	n.a.
	Max. N.	1,9	3,5		2,2					2,0	2,0			3,4	3,5	
Zn	n > BG	51	17		7		15	26	26	73	287	26	12	16	17	
	50. P.	19,3	20,3		20,8		33,9	16,8	16,8	66,6	17,5	16,8	13,1	27,5	20,3	
	90. P.	31,7	71,8	n.a.	43,1	n.a.	94,4	33,4	33,4	132,4	38,0	33,4	35,7	69,4	71,8	n.a.
	Max. N.	39,0	100,0		50,0		110,0	36,0	36,0	160,0	83,0	36,0	57,0	87,0	100,0	

Im Rahmen der Zustandsbewertungen sind im TEZG Rur mehrere FWK in den BE 08P11 mit Überschreitungen unter anderem bei den Parametern Arsen, Kobalt, Zink und Cadmium aufgefallen, denen bei der Ursachenrecherche keine entsprechenden anthropogenen Beeinträchtigungen zugeordnet werden konnten. Dort werden lokale geogene Ursachen für die UQN-Überschreitungen vermutet, welche durch die ermittelten HGW methodisch bedingt und maßstabsbedingt nicht abgebildet werden. Als Beispiele seien hier Schwarzbach, Laufenbach, Fuhrtsbach, Weserbach und Obere Kall genannt. Diese werden aus Quellbereichen im Hohen Venn mit sauren Moorwässern angeströmt, die eine Mobilisierung der in den dortigen Schwarzschiefern vorhandenen Schwermetalle begünstigen (VOGTMANN & SCHEPS & FRIEDRICH 1986 b).

Ähnlich verhält es sich mit dem Wolferter Bach und dem Reifferscheider Bach. Beide überschreiten die Barium-UQN. Der für die zugehörige BE Süd_08P11 ermittelte HGW liegt mit 50,8 µg/l jedoch unter der UQN. Auch hier werden (unter Berücksichtigung des Altbergbaus) anthropogene Ursachen der Überschreitungen eher ausgeschlossen und geogene Gründe vermutet. In den Bleialf-Rescheider Erzzügen sind aus der Spätphase der Vererzung Baryt-Gänge belegt. Aus Geländebegehungen des GD NRW ist das Auftreten von hochgepflügten Baryt-Lesesteinen auf den Äckern in diesem Bereich bekannt (KRAHN mdl. Mitt. 12.09.2018).

Der Wehebach weist in seinem Oberlauf (Weißer Wehebach) unter anderem Überschreitungen der UQN bei Kupfer und Kobalt auf. Auch die Silbergehalte sind hier erhöht, jedoch nicht über der Norm. Es wird davon ausgegangen, dass die Überschreitungen geogener Herkunft sind und aus den dort anstehenden sauren paläozoischen Magmatiten (Tonalitporphyrite und Quarzdiabase) entstammen. Im Rahmen einer geochemischen Prospektion in der Eifel mittels Auswertung von Wasser- und Sedimentproben aus Bächen und unter Anwendung des Wahrscheinlichkeitsnetzes erkannten bereits KULMS & FRIEDRICH (1970) in diesem Raum eine geochemische Anomalie, unter anderem bei Kupfer.

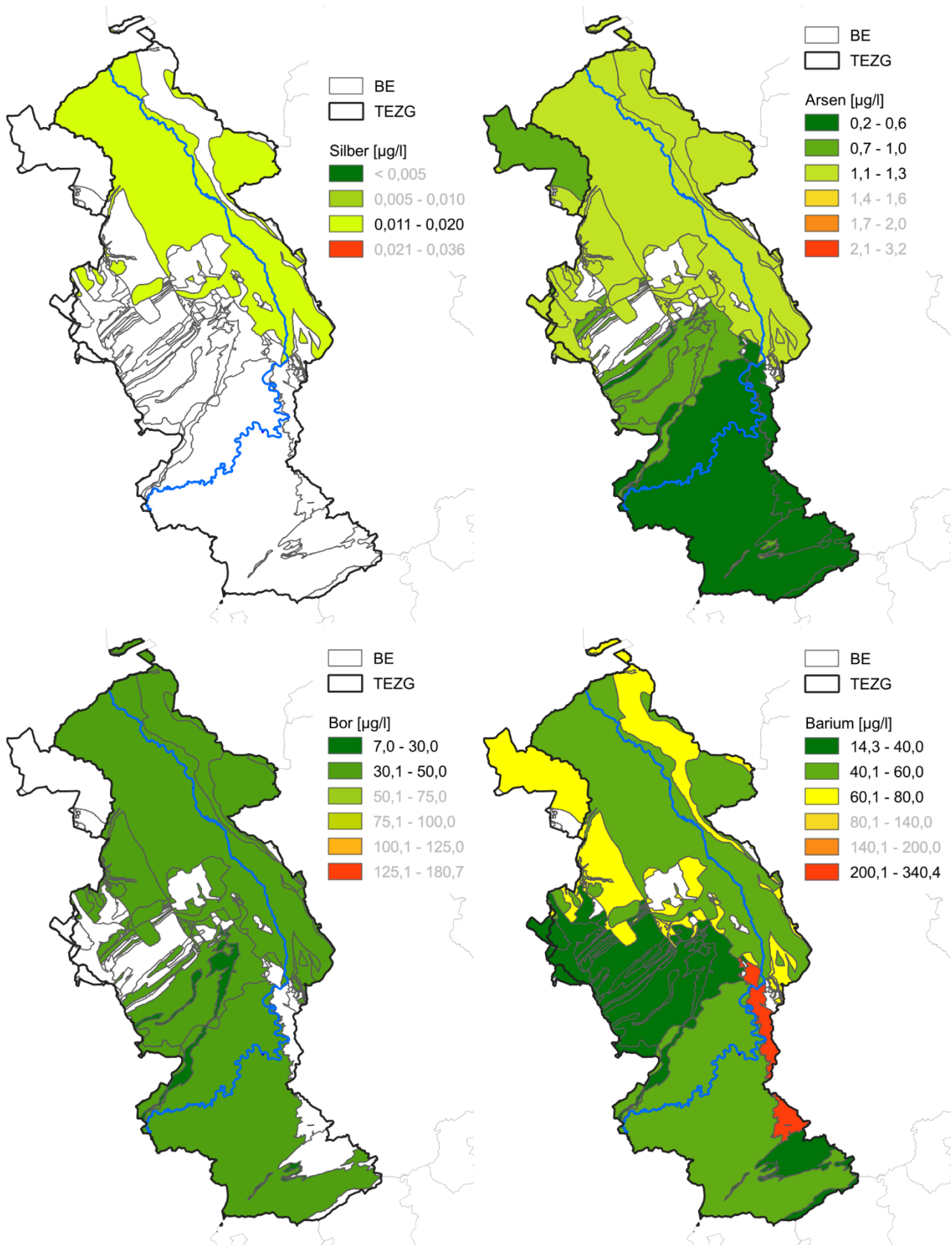


Abb. 13-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE der TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

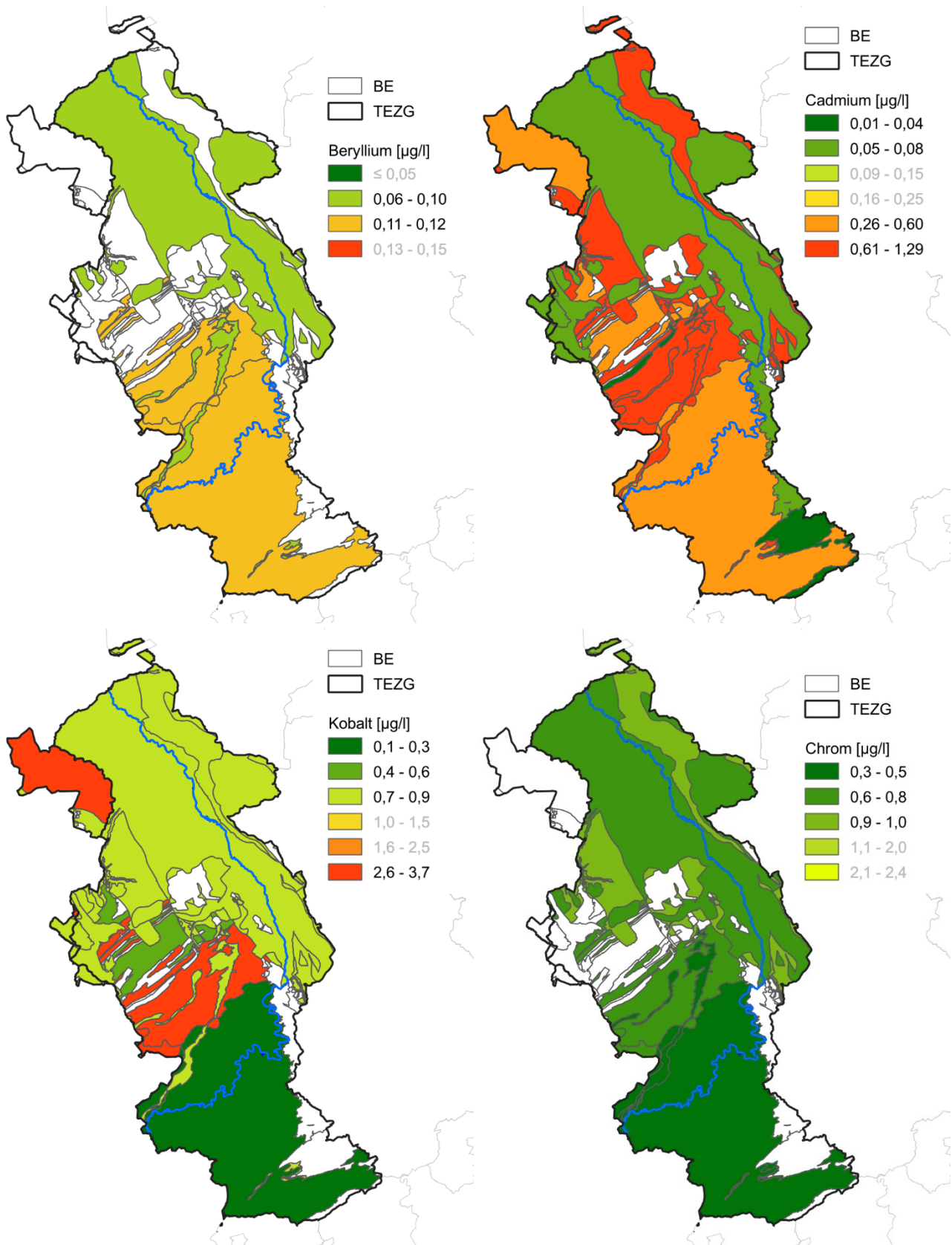


Abb. 13-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE der TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

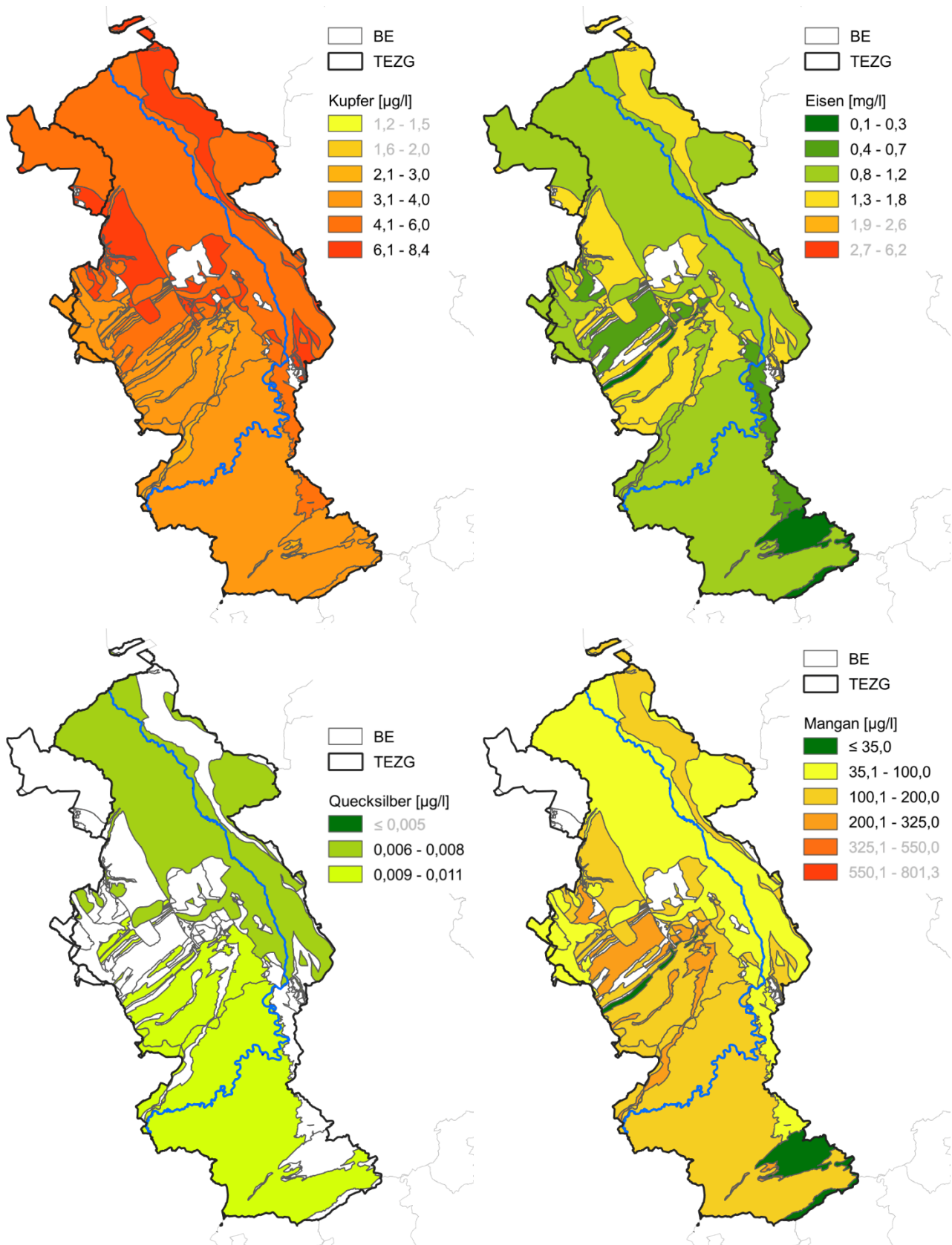


Abb. 13-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE der TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

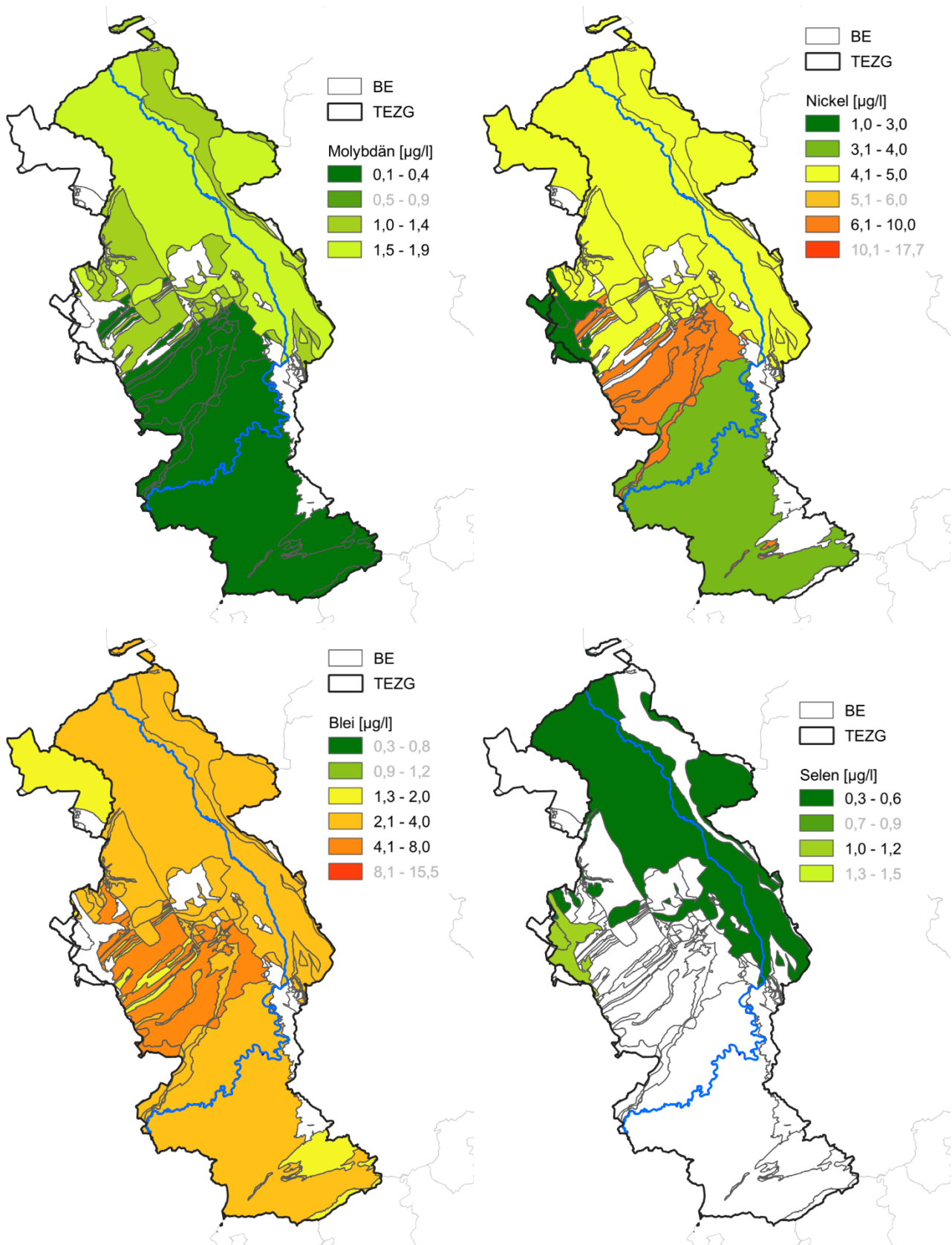


Abb. 13-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE der TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

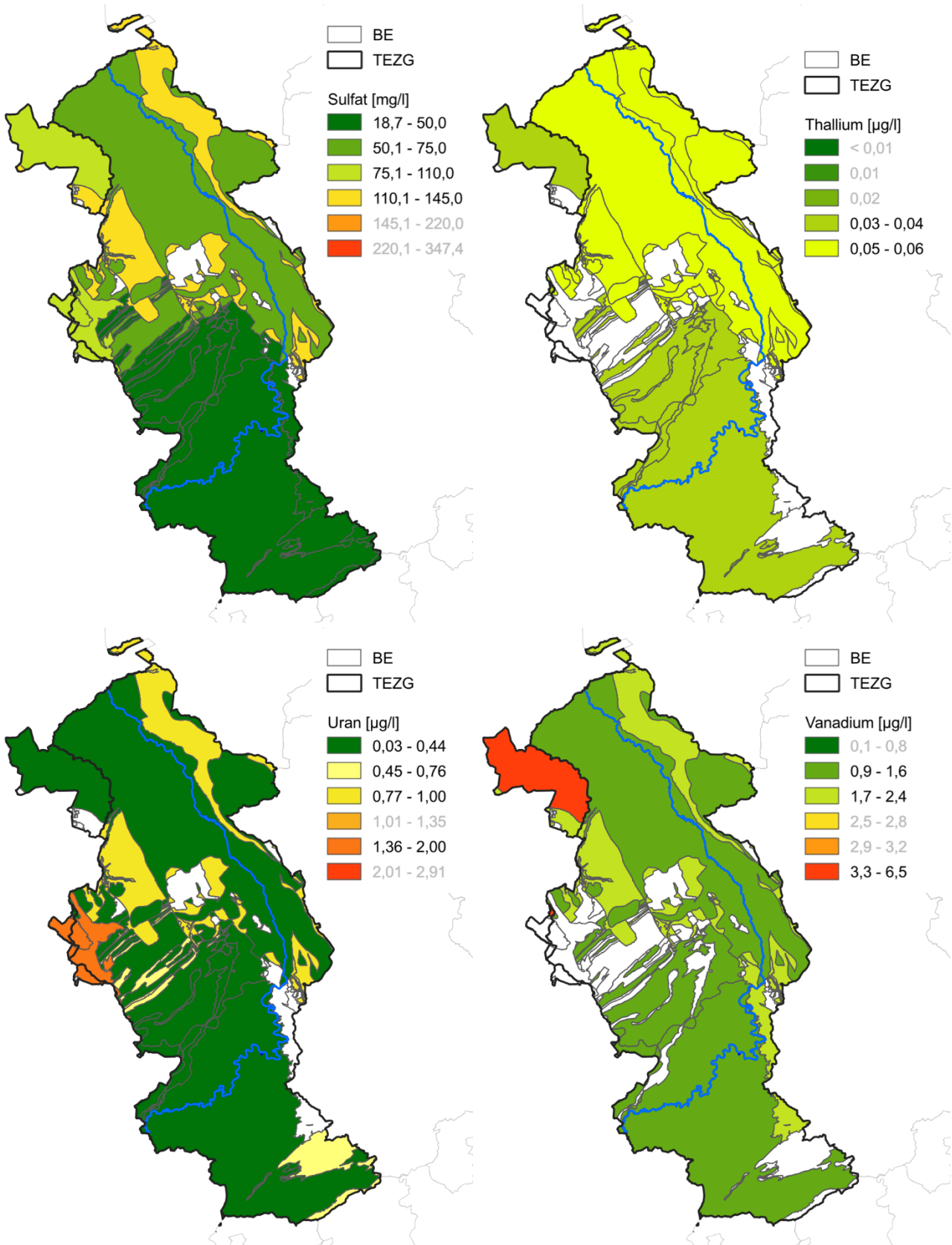


Abb. 13-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE der TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

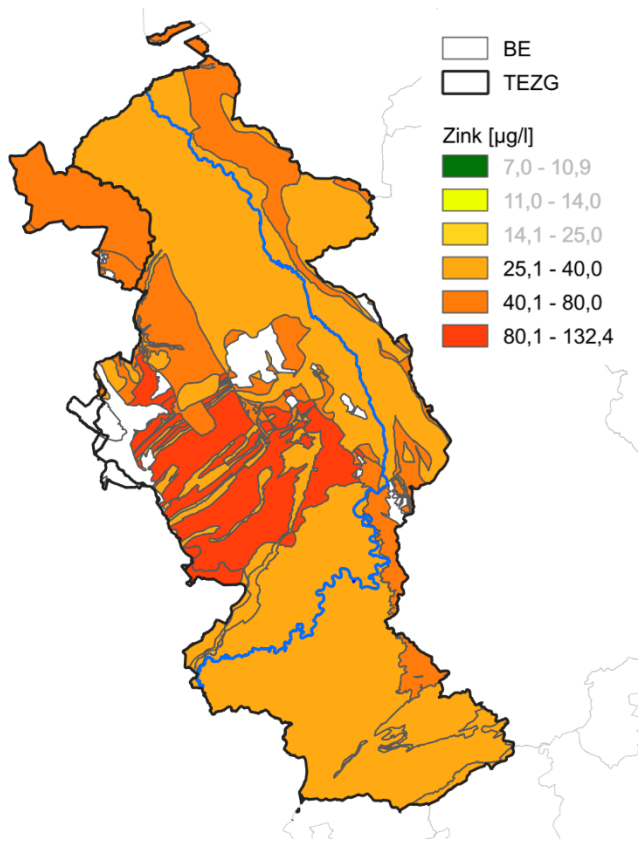


Abb. 13-9: HGW_{ges} für Zink in den BE der TEZG Rur und Sonstige Maaszuflüsse, Süd

14 Kyll

14.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Kyll gehört der Eifel an und liegt mit einer Größe von rund 88 km² am südwestlichen Rand NRW. Dabei umfasst das Gebiet Bereiche der Kalkeifel und der westlichen Hocheifel. Als Teil des Rheinischen Schiefergebirges liegt die Geländeoberfläche im Nordwesten des TEZG bei bis zu 693 m ü. NHN. Hier befindet sich die höchste Erhebung des TEZG, der Weiße Stein. In südöstliche Richtung sinkt das Gelände bis auf etwa 454 m ü. NHN ab (WMS DTK 100). In Abbildung 14-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 14-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des TEZG.

Die Kyll bildet das Hauptgewässer des Gebietes. Sie entspringt im Zitterwald bei Losheimergraben nahe der Staatsgrenze zu Belgien und fließt anschließend von Nordwest nach Südost, wobei sie NRW mehrfach verlässt und wieder eintritt, bevor sie nach etwa 12 km endgültig in das Bundesland Rheinland-Pfalz übergeht. Von der Quelle ausgehend, münden unter anderem die Berke, der Kerschenbach und die Simmel im nordrhein-westfälischen Teil der Kyll (MULNV 2021 b).

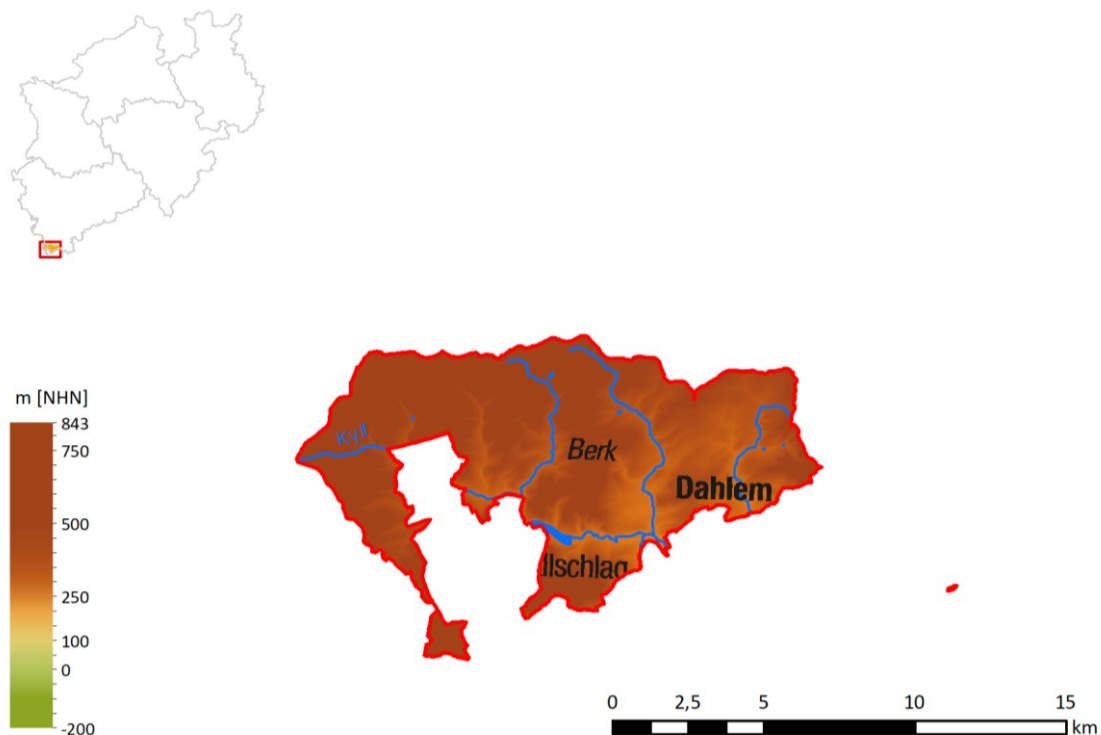


Abb. 14-1: TEZG Kyll

Das TEZG ist forstwirtschaftlich geprägt, wobei etwa 51 % seiner Fläche von Wald und Forst eingenommen werden. Weiterhin werden ca. 43 % als Grünlandflächen, 4 % als Siedlungs- und

Gewerbeflächen sowie 1 % als Ackerfläche ausgewiesen (MULNV 2021 b). Etwa 10 % des Gesamt-Einzugsgebietes der Kyll liegen in NRW (Wasserportal Rheinland-Pfalz).

Geologie/Hydrogeologie

Der Untergrund des TEZG wird hauptsächlich durch paläozoische Festgesteine des Rheinischen Schiefergebirges aufgebaut. Darunter Gesteine des Unterdevons der Nordeifel und des Mitteldevons der Blankenheimer Kalkmulde (IS Geol. Teilräume).

Im westlichen Bereich des TEZG stehen ausschließlich Schichten des Unterdevons an. Sie setzen sich aus Ton-, Schluff- und Sandsteinen zusammen, die bis in den Osten des TEZG reichen. Dort umschließen sie im Bereich der Blankenheimer Mulde überwiegend karbonatische Schichtfolgen des Mitteldevons. Der Kern der Blankenheimer Mulde wird aus mächtigen Riffkalksteinen und -dolomiten aufgebaut. Daneben folgen Mergel-, Kalksandsteine sowie Schluff- und Sandsteine.

Im Rahmen der variszischen Orogenese wurden die paläozoischen Gesteine aufgefaltet, zerklüftet und deformiert (HENNINGSEN & KATZUNG 2006). Die Blankenheimer Mulde ist tektonisch durch eine im Streichen, d. h. Südwest-Nordost verlaufende Aufschiebung sowie durch querschlägige Störungen geprägt.

Ganz im Osten des Gebietes sind kleinflächig Sandsteine mit untergeordnet Ton- und Schluffsteinen des Mittleren Buntsandsteins der Trias verbreitet (IS GK 100). Diese liegen diskordant auf den Gesteinen des Paläozoikums. Sie stellen Erosionsreste einer ehemals flächenhaften Verbreitung des Buntsandsteins auf dem sich weiterhin hebenden Mittelgebirge dar (GD NRW 2010; IS GK 100).

Die unterdevonischen Gesteine des TEZG sind als Kluftgrundwasserleiter zu klassifizieren, während die mitteldevonischen Gesteine Karstgrundwasserleiter ausbilden. Die Durchlässigkeit der unterdevonischen Kluftgrundwasserleiter ist sehr gering bis gering, wohingegen die Karstgrundwasserleiter der mitteldevonischen Riffkarbonate eine mittlere bis sehr hohe Durchlässigkeit besitzen können. Die Sandsteine des Buntsandsteins stellen einen Poren-/Kluftgrundwasserleiter mit überwiegend mittlerer Durchlässigkeit dar (IS HK 100).

Die Wasserbewegung des Kluftgrundwassers in den Ton-, Schluff- und Sandsteinen des Unterdevons ist hauptsächlich auf offene Trennfugen beschränkt und die Wasserwegsamkeiten sind aufgrund der tektonischen Beanspruchung stark richtungsabhängig. Die bevorzugte Durchlässigkeit folgt dem Streichen des Rheinischen Schiefergebirges in der Richtung Südwest-Nordost (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Die Blankenheimer Kalkmulde ist heute weitgehend hydraulisch von weiteren mitteldevonischen Kalkmulden getrennt. Die ergiebigen Karstgrundwasserleiter der Mulde sind in die Grundwasseringeleiter des Unterdevons eingebettet. Ähnlich wie in anderen Karstgebieten besteht ein enger hydraulischer Kontakt zwischen dem freien Karstwasserspiegel und oberirdischen Gewässern des TEZG (Ad-hoc-AG

Hydrogeologie 2016). Das Grundwasservorkommen in der Blankenheimer Mulde entwässert über zahlreiche Quellen, häufig im Bereich querschlägiger Störungen (IS Qk).

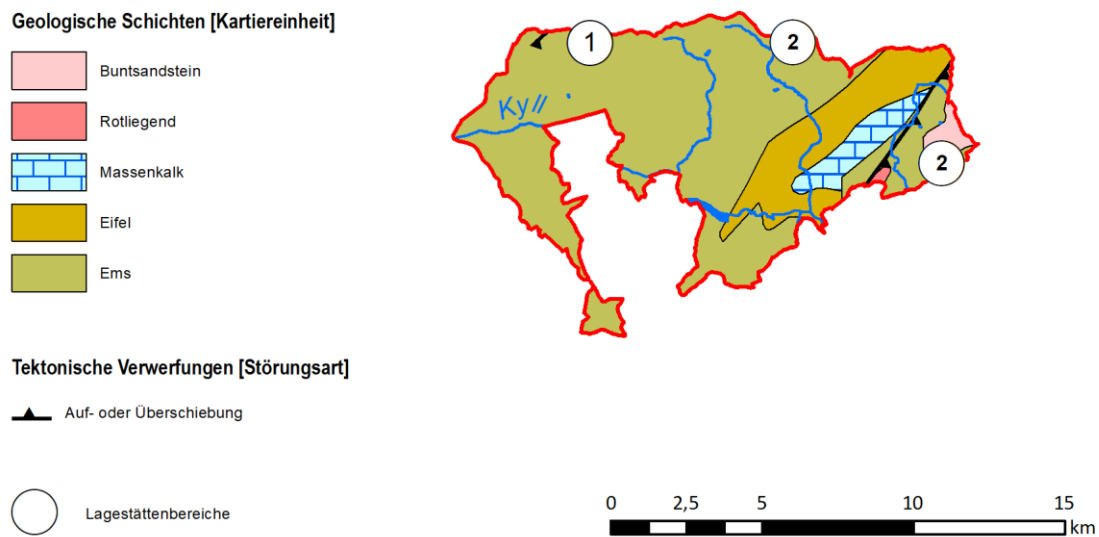


Abb. 14-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Kyll

Die Poren-/Kluftgrundwasserleiter des Buntsandsteins beinhalten ein nennenswertes Grundwasservorkommen. Dies ist in den mächtigen Sandsteinen auf den aus Poren und Kluftvolumen bestehenden speicherwirksamen Hohlraumanteil zurückzuführen (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). An der Basis der Sandsteine tritt das Grundwasser über den sehr geringdurchlässigen paläozoischen Gesteinen in Quellen aus.

Lagerstätten und Mineralisation

Grundsätzlich liegen vor allem in den Tonsteinen des Rheinischen Schiefergebirges, wie sie auch im TEZG der Kyll großflächig vorkommen, erhöhte Schwermetallgehalte vor. In den ursprünglichen marinen Sedimentschlammern führten anoxische Bedingungen zur Bindung von Schwermetallen (VOGTMANN, SCHEPS & FRIEDRICH 1986 b).

Im Norden reichen die Blei- und Zinkvorkommen der Südwest-Nordost streichenden **Bleialf-Rescheider Erzzüge** (Abb. 14-2: Markierung 1) in das TEZG der Kyll hinein. Etwas weiter nördlich, jedoch im TEZG Rur liegend, befindet sich die Grube Wohlfahrt, die eines der bedeutendsten Erzvorkommen der Eifel darstellt (IS GK 100; IS Erz). Die teilweise zutage tretenden Erzgänge wurden in historischer Zeit von der Oberfläche aus in Pingen abgebaut.

Im Süden und Norden des TEZG befinden sich kleinere Vorkommen von Roteisenlagern, die aus marinsedimentären Eisenoiden entstanden sind. Sie sind Teil des **Eifeler Roteisenstein-Bezirks** (Abb. 14-2: Markierung 2) (RIBBERT et al. 2010; SIMON 1979; IS GK 100; IS Erz) und wurden z. T. bis in das letzte Jahrhundert abgebaut und vor Ort verarbeitet.

14.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 14-3 und Tabelle 14-1 wird ein Überblick über die im TEZG Kyll abgegrenzten BE gegeben.

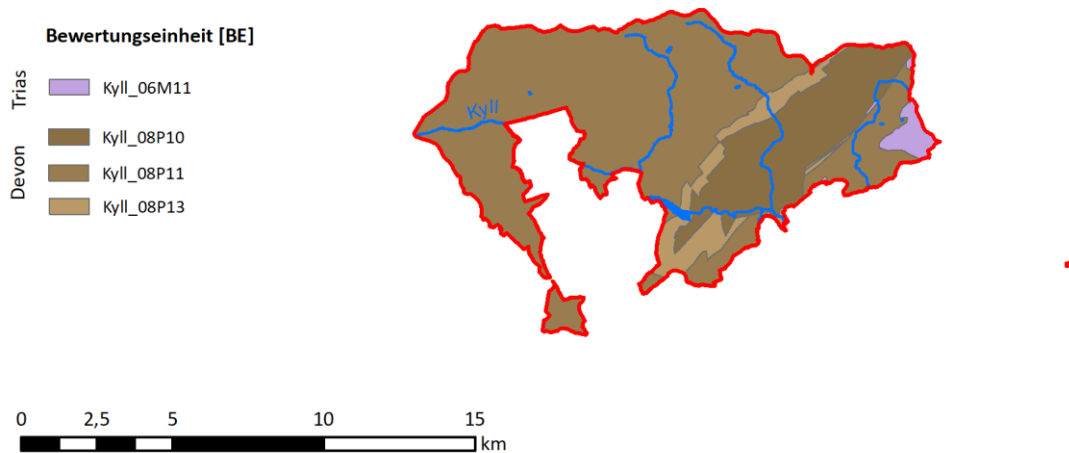


Abb. 14-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Kyll

Nur eine kleine Fläche des TEZG Kyll liegt in NRW, sodass auch nur wenige, kleinräumige BE zu unterscheiden sind. Als Folge ist auch die Datendichte in den jeweiligen BE gering und für eine Auswertung nicht ausreichend. Da sich die paläozoischen Schiefer und Sandsteine (08P11) sowie die paläozoischen Karbonate (08P10) auch im angrenzenden TEZG der Ahr erstrecken und ähnliche Vererzungen aufweisen, wurden die Daten aus den TEZG Kyll und Ahr aggregiert, um möglichst viele Auswertungen realisieren zu können.

Im Fall von Mangan wurde für die BE 06M11 (Buntsandstein) ein Zusammenschluss mit der gleichen BE der TEZG Ahr, Erft und Rur vorgenommen.

Tab. 14-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Kyll

Kyll_		Fläche [km²]
06M11	Buntsandstein, ungliedert	1,9
08P10	paläozoische Karbonate	17,8
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	61,5
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	6,7

14.3 Ergebnisse

In Tabelle 14-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 14-4 bis 14-7 in Karten dargestellt.

Tab. 14-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Kyll			
		06M11	08P10	08P11	08P13
Ag	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
As	n > BG			15	
	50. P.			0,3	
	90. P.	n.a.	n.a.	0,4	n.a.
	Max. N.			0,5	
B	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Ba	n > BG		9	12	
	50. P.		12,1	26,5	
	90. P.	n.a.	32,8	38,1	n.a.
	Max. N.		44,0	40,0	
Be	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Cd	n > BG			9	
	50. P.			0,00	
	90. P.	n.a.	n.a.	0,05	n.a.
	Max. N.			0,40	
Co	n > BG			13	
	50. P.			0,1	
	90. P.	n.a.	n.a.	0,2	n.a.
	Max. N.			0,3	
Cr	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Cu	n > BG		20	21	
	50. P.		0,5	0,7	
	90. P.	n.a.	1,6	1,2	n.a.
	Max. N.		2,6	1,2	
Fe	n > BG		11	15	
	50. P.		0,0	0,1	
	90. P.	n.a.	0,1	0,4	n.a.
	Max. N.		0,4	0,3	
Hg	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				

Parameter	Kennwert	Kyll			
		06M11	08P10	08P11	08P13
Mn	n > BG	18	10	27	
	50. P.	1,3	3,9	30,5	
	90. P.	62,5	25,1	205,7	n.a.
	Max. N.	165,0	82,0	92,0	
Mo	n > BG		10	8	13
	50. P.		0,0	0,1	0,0
	90. P.	n.a.	0,2	0,2	0,1
	Max. N.		0,6	0,3	0,3
Ni	n > BG			15	
	50. P.			0,9	
	90. P.	n.a.	n.a.	2,6	n.a.
	Max. N.			4,7	
Pb	n > BG		10	17	
	50. P.		0,1	0,2	
	90. P.	n.a.	0,7	1,6	n.a.
	Max. N.		3,0	5,1	
Se	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
SO ₄	n > BG		27	42	
	50. P.		19,2	16,9	
	90. P.	n.a.	25,4	24,9	n.a.
	Max. N.		25,0	33,0	
Ti	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Tl	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
U	n > BG		22	14	
	50. P.		0,25	0,02	
	90. P.	n.a.	0,47	0,06	n.a.
	Max. N.		0,70	0,06	
V	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Zn	n > BG		22	109	
	50. P.		8,8	12,1	
	90. P.	n.a.	12,7	21,3	n.a.
	Max. N.		16,0	28,0	

Bei den im TEZG Kyll ermittelten HGW fallen einzelne Überschreitungen der Beurteilungswerte innerhalb der BE 08P11 auf. Dies gilt für die Parameter Mangan, Blei und Zink. Hier wird ein Zusammenhang mit den häufig erhöhten Schwermetallgehalten der Tonsteine des Rheinischen Schiefergebirges angenommen (VOGTMANN & SCHEPS & FRIEDRICH 1986 b). Die Mangan-HGW können zudem auf Roteisenerzlager innerhalb des Eifeler Roteisenstein-Bezirks zurückgeführt werden (IS Erz).

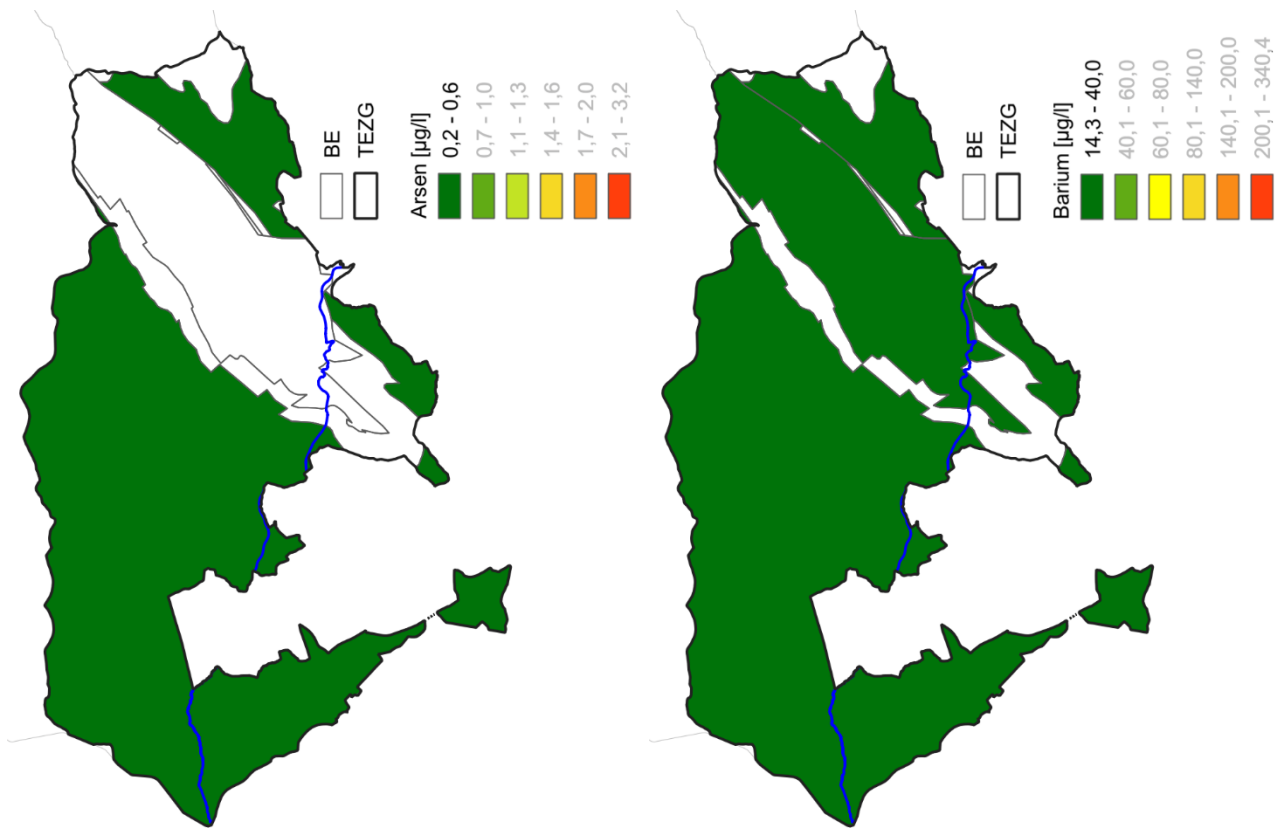


Abb. 14-4: HGW_{ges} für Arsen und Barium in den BE des TEZG Kyll

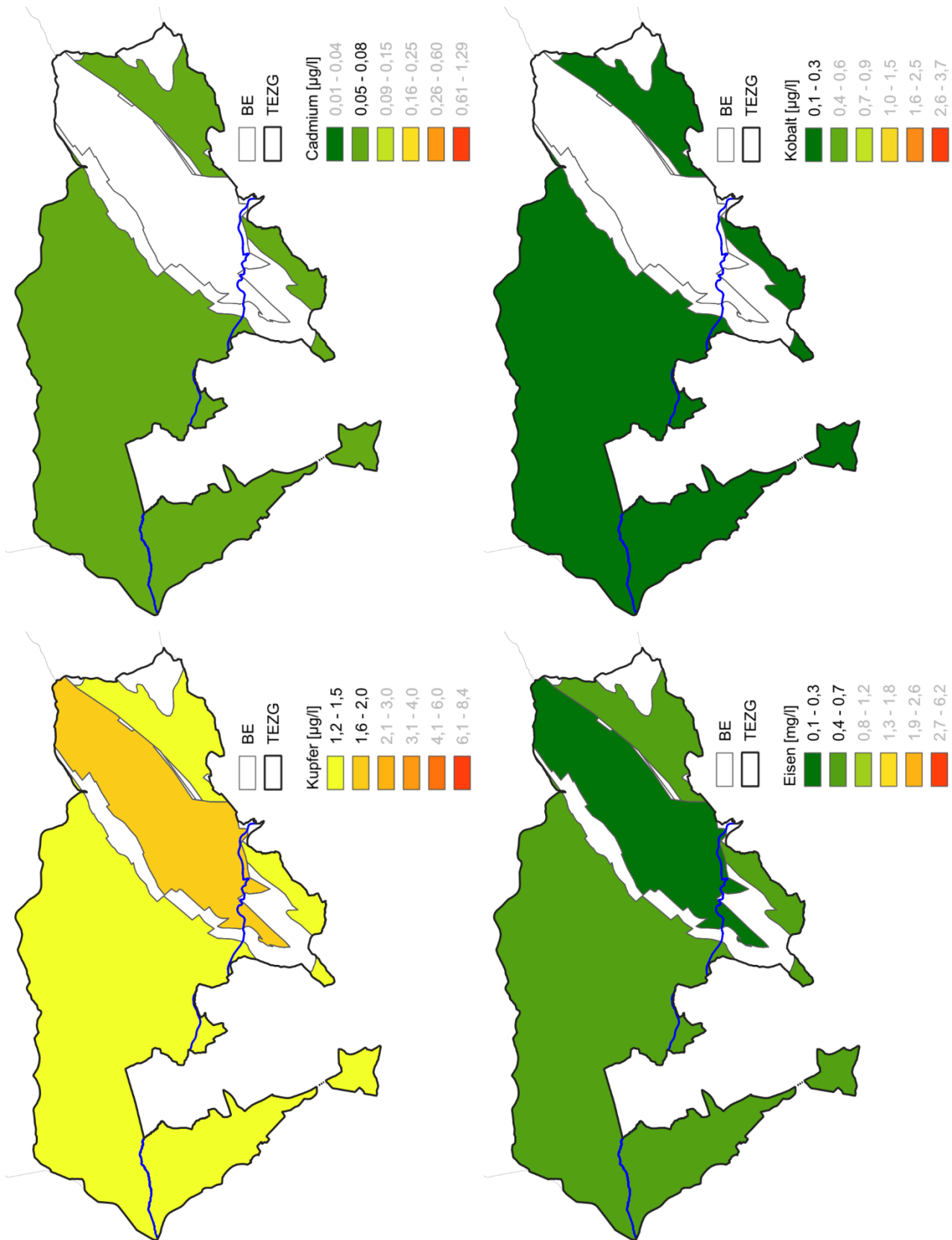


Abb. 14-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Kupfer, Eisen in den BE des TEZG Kyll

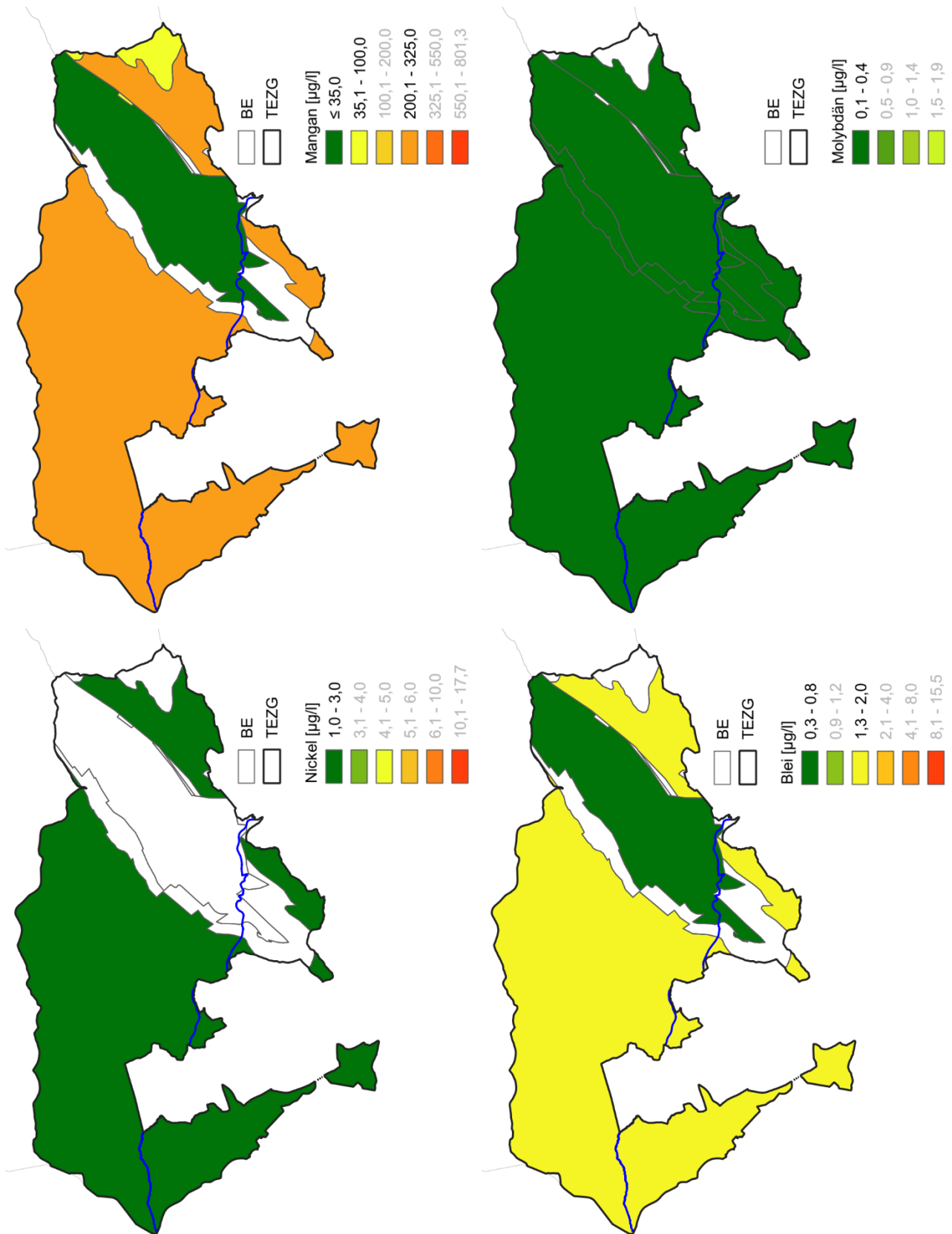


Abb. 14-6: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE des TEZG Kyll

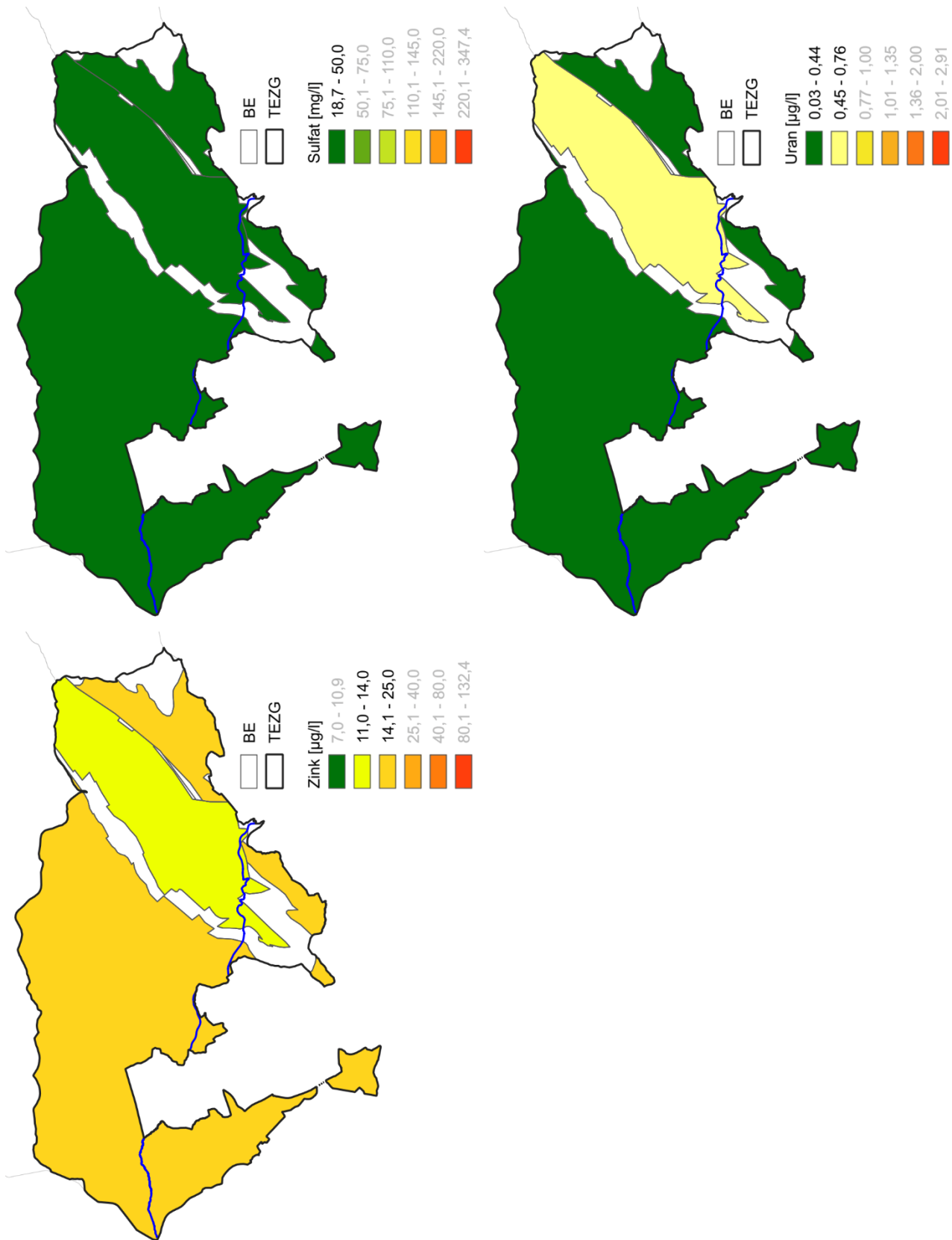


Abb. 14-7: HGW_{ges} für Sulfat, Uran und Zink in den BE des TEZG Kyll

15 Ahr

15.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Ahr gehört der Eifel an und liegt mit einer Größe von rund 214 km² am südwestlichen Rand NRW. Dabei umfasst das Gebiet sowohl naturräumlich Bereiche der Ahreifel und der Kalkeifel als auch des Münstereifeler Waldes und des Nordöstlichen Eifelfußes. Der untersuchte, innerhalb von NRW liegende Teil des TEZG umfasst zwei räumlich voneinander getrennte Bereiche, einen flächenmäßig größeren südwestlichen und einen nordöstlichen Teil. Als Bestandteil des Rheinischen Schiefergebirges liegt die Geländeoberfläche im Südwesten des TEZG bei bis zu 595 m ü. NHN. Hier befindet sich die höchste Erhebung des TEZG, der Heidenkopf III. In nordöstliche Richtung sinkt das Gelände bis auf etwa 260 m ü. NHN ab (WMS DTK 100). In Abbildung 15-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 15-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des TEZG.

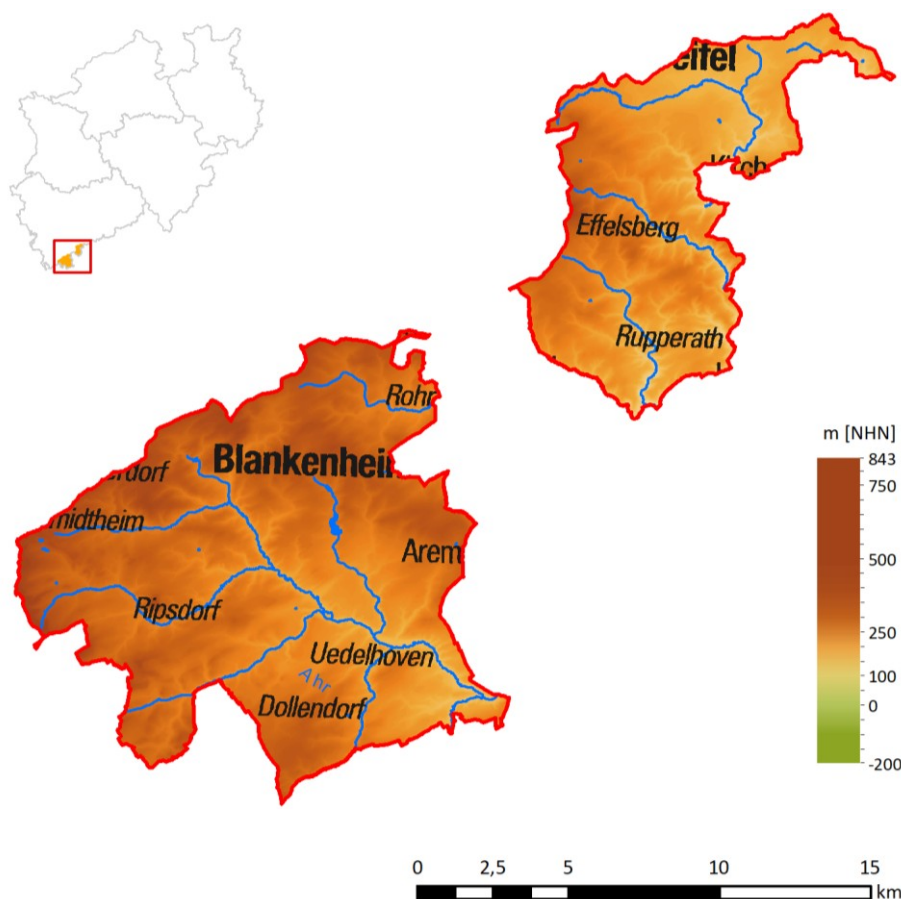


Abb. 15-1: TEZG Ahr

Die Ahr entspringt im nordrhein-westfälischen Ort Blankenheim und fließt zunächst innerhalb von NRW etwa 17 km von Nordwest in Richtung Südost, bevor der Übertritt in das Bundesland Rheinland-Pfalz erfolgt, in dem sie weitere 68 km bis zur Mündung in den Rhein bei Remagen strömt. Von der Quelle

ausgehend münden unter anderem der Nonnenbach, der Schaafbach, der Lampertsbach, der Mühlentbach, der Michelsbach sowie der Ahrbach im nordrhein-westfälischen Teil der Ahr (MULNV 2021 b). Knapp 24 % des Gesamt-Einzugsgebietes der Ahr liegen in NRW (Wasserportal Rheinland-Pfalz).

Das TEZG ist forstwirtschaftlich geprägt, wobei etwa 50 % seiner Fläche von Wald und Forst eingenommen werden. Weiterhin werden ca. 36 % als Grünlandfläche, 9 % als Ackerfläche sowie 5 % als Siedlungs- und Gewerbefläche ausgewiesen (MULNV 2021 b).

Geologie/Hydrogeologie

Der Untergrund des TEZG wird hauptsächlich durch paläozoische Festgesteine des Rheinischen Schiefergebirges aufgebaut. Das sind im Wesentlichen Gesteine des Unterdevons der Nordeifel und des Mitteldevons der Eifel-Kalkmulden (Blankenheimer, Rohrer und Dollendorfer Mulde) (IS Geol. Teilräume).

Die Schichten des Unterdevons setzen sich aus Ton-, Schluff- und Sandsteinen zusammen. Die Schichtfolgen des Mitteldevons bestehen überwiegend aus karbonatischen Gesteinstypen; neben den mächtigen Riffkalksteinen bzw. -dolomiten, welche die Muldenkerne aufbauen, bestehen deren Mantelschichten aus Mergelsteinen, Kalksandsteinen, Schluff- und Sandsteinen.

Im nordöstlichen Bereich des TEZG sind ausschließlich Schichten des Unterdevons verbreitet. Diese nehmen auch im südwestlichen Bereich große Flächen ein, hier im Wechsel mit Schichten des Mitteldevons der Eifelkalkmulden. Durch die variszische Orogenese wurden die paläozoischen Gesteine aufgefaltet, zerklüftet und deformiert (HENNINGSEN & KATZUNG 2006). Bei den Kalkmulden handelt es sich um Erosionsreste flachmariner Karbonatplattformen. Die Mächtigkeiten der karbonatischen Muldenfüllungen liegen bei bis zu ca. 300 m (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Die Kalkmulden sind tektonisch geprägt durch im Streichen, d. h. Südwest-Nordost verlaufende Aufschiebungen und Überschiebungen, sowie durch querschlägige Störungen. Typisch für sie ist die Reliefumkehr, d. h. die tektonischen Mulden bilden meist topographisch Sättel aus.

Ganz im Westen des südwestlichen TEZG treten Sandsteine mit untergeordnet Ton- und Schluffsteinen des Mittleren Buntsandsteins (Trias) auf (IS GK 100). Diese liegen diskordant und flach bis leicht geneigt auf den Gesteinen des Paläozoikums. Sie sind Teil der weitreichenden Trias-Verbreitung in der Eifeler Nord-Süd-Zone und sind hier an Störungen so weit abgesunken, dass sie bisher beim Abtrag des Gebirges erhalten blieben.

Vereinzelt sind im TEZG Ahr kleinflächige Vorkommen von Nephelin- bzw. Alkalibasalten kartiert worden. Sie sind das Ergebnis tertiärzeitlicher vulkanischer Aktivitäten und durchschlagen als vertikale Schloten die zuvor beschriebenen älteren Gesteine.

Die Hydrogeologie des Gebietes folgt den vorherrschenden geologischen Strukturen. Die unterdevonischen Gesteine des TEZG sind als Kluftgrundwasserleiter mit einer sehr geringen bis geringen Durchlässigkeit anzusprechen, während die mitteldevonischen Riffkarbonate Karstgrundwasserleiter

ausbilden. Sie besitzen je nach Verkarstungsgrad eine mittlere bis sehr hohe Durchlässigkeit. Die Folgen des Buntsandsteins werden überwiegend als Poren-/Kluftgrundwasserleiter mit einer mittleren Durchlässigkeit klassifiziert (IS HK 100). Die tertiären Alkalibasalte bilden Kluftgrundwasserleiter mit einer überwiegend mittleren Durchlässigkeit aus (IS HK 100).

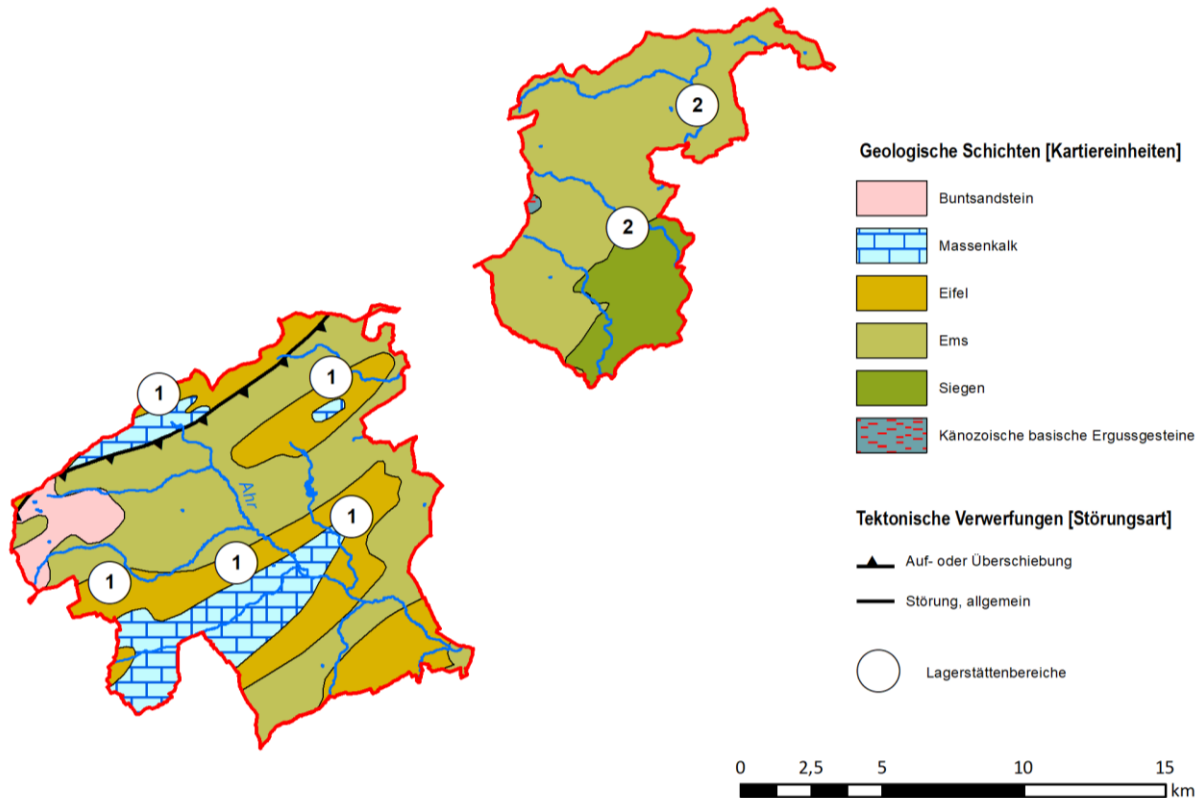


Abb. 15-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Ahr

Die Wasserbewegung des Kluftgrundwassers in den Ton-, Schluff- und Sandsteinen des Unterdevons ist hauptsächlich auf offene Trennfugen beschränkt und die Wasserwegsamkeiten sind aufgrund der tektonischen Beanspruchung stark richtungsabhängig. Die bevorzugte Durchlässigkeit folgt dem Streichen des Rheinischen Schiefergebirges in der Richtung Südwest-Nordost (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Die Kalkmulden des Mitteldevons sind heute weitgehend hydraulisch voneinander getrennt. Die hydrogeologischen Merkmale, inklusive der Verkarstung, können dabei variieren. Die Mulden bauen ergiebige, wasserwirtschaftlich bedeutsame Grundwasserleiter auf, die in die bereits beschriebenen Grundwassergeringleiter des Unterdevons eingebettet sind. Ähnlich wie in anderen Karstgebieten besteht ein enger hydraulischer Kontakt zwischen dem freien Karstwasserspiegel und oberirdischen Gewässern des TEZG (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Die Grundwasservorkommen in den Muldenstrukturen entwässern über zahlreiche Quellen, häufig im Bereich querschlägiger Störungen, und speisen die Ahr sowie andere Oberflächengewässer (IS Qk).

Die Poren-/Kluftgrundwasserleiter des Buntsandsteins der Trias weisen ebenfalls eine relevante Ergiebigkeit auf. Dies liegt an den mächtigen Sandsteinen, die neben den Klüften zusätzlichen speicherwirksamen Porenraum bieten (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Das Grundwasser des Buntsandsteins tritt meist im Bereich der Sandsteinbasis über den unterdevonischen Geringleitern aus.

Im südwestlichen Bereich des TEZG befinden sich stellenweise Übergangs- und Niedermoore (IS BK 50).

Lagerstätten und Mineralisation

Grundsätzlich liegen vor allem in den Tonsteinen des Rheinischen Schiefergebirges, wie sie auch im TEZG der Ahr großflächig vorkommen, erhöhte Schwermetallgehalte vor. In den ursprünglichen marinen Sedimentschlämmen führten anoxische Bedingungen zur Bindung von Schwermetallen (VOGTMANN & SCHEPS & FRIEDRICH 1986 b).

Der **Eifeler Roteisenstein-Bezirk** (Abb. 15-2: Markierung 1) tangiert den südwestlichen Bereich des TEZG. In diesem liegen innerhalb der unterdevonischen Gesteine marin-sedimentär entstandene Eisenooide vor, die Erzlager in Form von Eisenoolithen ausbilden (RIBBERT et al. 2010; SIMON 1979; IS GK 100; IS Erz). Die Erze wurden zum Teil in historischer Zeit im Raum Blankenheim von der Oberfläche aus in Pingen abgebaut, welche im digitalen Geländemodell heute noch gut erkennbar sind.

In den nordöstlichen Bereich des TEZG reicht ein Teil des **Osteifeler Erzbezirks** (Abb. 15-2, Markierung 2), dessen Buntmetall-Erzgänge sowohl variszischen als auch postvariszischen Ursprungs sind. Diese Erzgänge treten innerhalb der Gesteine des Unterdevons auf (REPPKE 1993; RIBBERT et al. 2010; IS GK 100; IS Erz).

15.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 15-3 und Tabelle 15-1 wird ein Überblick über die im TEZG Ahr abgegrenzten BE gegeben.

Tab. 15-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Ahr

Ahr_		Fläche [km ²]
06M11	Buntsandstein, ungegliedert	5,0
08P10	paläozoische Karbonate	64,0
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	140,4
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	4,6

Ähnlich der Kyll ist der nordrhein-westfälische Teil des TEZG Ahr verhältnismäßig klein und es sind nur wenige, meist kleinräumige BE gegeneinander abgegrenzt. Als Folge ist auch die Datendichte in den jeweiligen BE gering. Da sich die paläozoischen Schiefer und Sandsteine (08P11) sowie die paläozoischen Karbonate (08P10) auch im angrenzenden TEZG der Kyll erstrecken und ähnliche Vererzungen aufweisen, wurde hier, wie in Kapitel 14.2 (TEZG Kyll) erläutert, eine gemeinschaftliche Auswertung vorgenommen.

Um für den Parameter Mangan eine Auswertung der Einheit 06M11 (Buntsandstein) zu ermöglichen, wurden die Daten der gleichen BE der TEZG Kyll, Erft und Rur zugeschlagen.

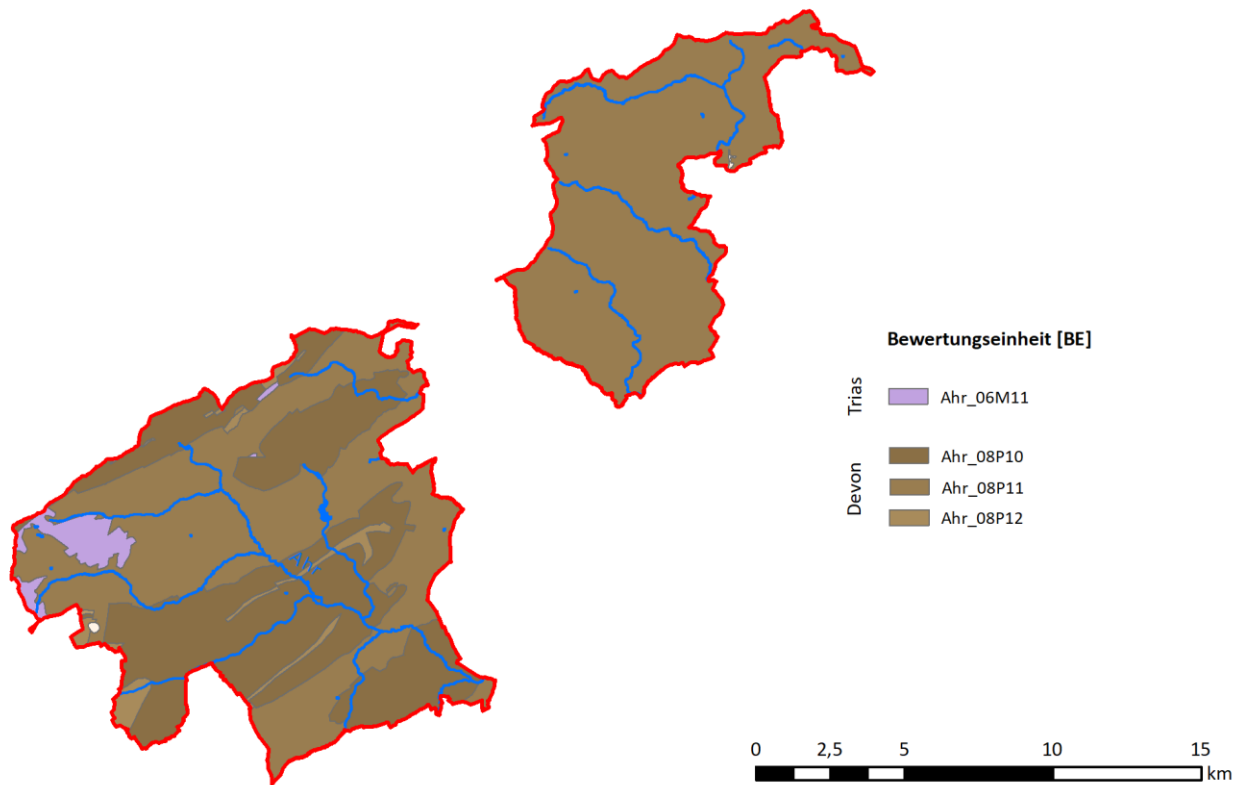


Abb. 15-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Ahr

15.3 Ergebnisse

In Tabelle 15-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 15-4 bis 15-7 in Karten dargestellt.

Da die Datensätze der BE der TEZG Ahr und Kyll zusammengelegt und gemeinsam ausgewertet wurden, ergeben sich in den TEZG dieselben HGW. Wie in Kapitel 14.3 (TEZG Kyll) dargelegt, werden die HGW auf natürlich erhöhte Gehalte der Tonsteine im Rheinischen Schiefergebirge, ebenso wie auf vorhandene Vererzungen innerhalb des Eifeler Roteisenstein-Bezirks, zurückgeführt.

Tab. 15-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Ahr		
		06M11	08P10	08P11
Ag	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
As	n > BG			15
	50. P.			0,3
	90. P.	n.a.	n.a.	0,4
	Max. N.			0,5
B	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
Ba	n > BG		9	12
	50. P.		12,1	26,5
	90. P.	n.a.	32,8	38,1
	Max. N.		44,0	40,0
Be	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
Cd	n > BG			9
	50. P.			0,00
	90. P.	n.a.	n.a.	0,05
	Max. N.			0,40
Co	n > BG			13
	50. P.			0,1
	90. P.	n.a.	n.a.	0,2
	Max. N.			0,3
Cr	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
Cu	n > BG		20	21
	50. P.		0,5	0,7
	90. P.	n.a.	1,6	1,2
	Max. N.		2,6	1,2
Fe	n > BG		11	15
	50. P.		0,0	0,1
	90. P.	n.a.	0,1	0,4
	Max. N.		0,4	0,3
Hg	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			

Parameter	Kennwert	Ahr		
		06M11	08P10	08P11
Mn	n > BG	18	10	27
	50. P.	1,3	3,9	30,5
	90. P.	62,5	25,1	205,7
	Max. N.	165,0	82,0	92,0
Mo	n > BG		10	8
	50. P.		0	0,1
	90. P.	n.a.	0,2	0,2
	Max. N.		0,6	0,3
Ni	n > BG			15
	50. P.			0,9
	90. P.	n.a.	n.a.	2,6
	Max. N.			4,7
Pb	n > BG		10	17
	50. P.		0,1	0,2
	90. P.	n.a.	0,7	1,6
	Max. N.		3,0	5,1
Se	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
SO ₄	n > BG		27	42
	50. P.		19,2	16,9
	90. P.	n.a.	25,4	24,9
	Max. N.		25,0	33,0
Ti	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
Tl	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
U	n > BG		22	14
	50. P.		0,25	0,02
	90. P.	n.a.	0,47	0,06
	Max. N.		0,70	0,06
V	n > BG			
	50. P.			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			
Zn	n > BG		22	109
	50. P.		8,8	12,1
	90. P.	n.a.	12,7	21,3
	Max. N.		16,0	28,0

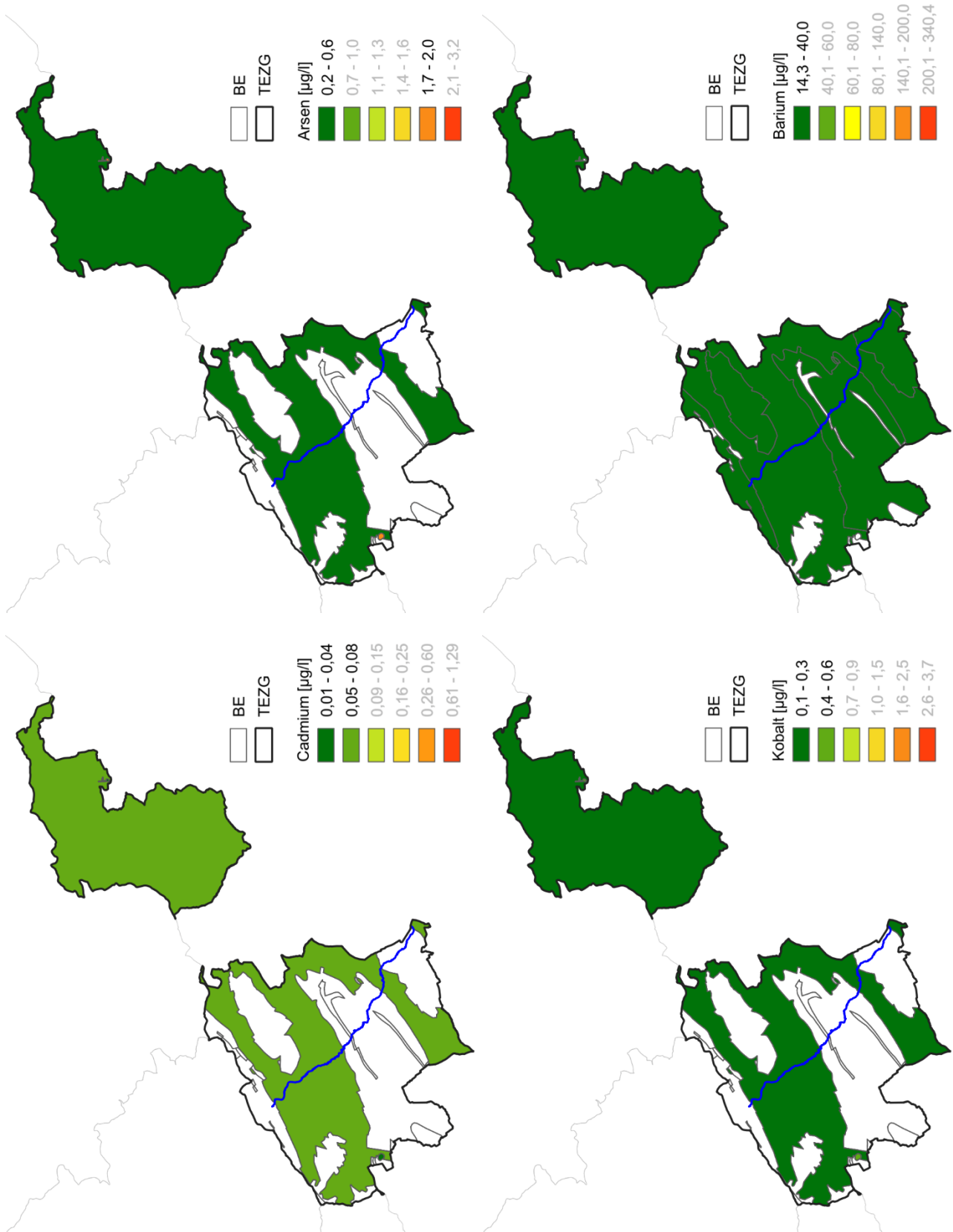


Abb. 15-4: HGW_{ges} für Arsen, Barium, Cadmium und Kobalt in den BE des TEZG Ahr

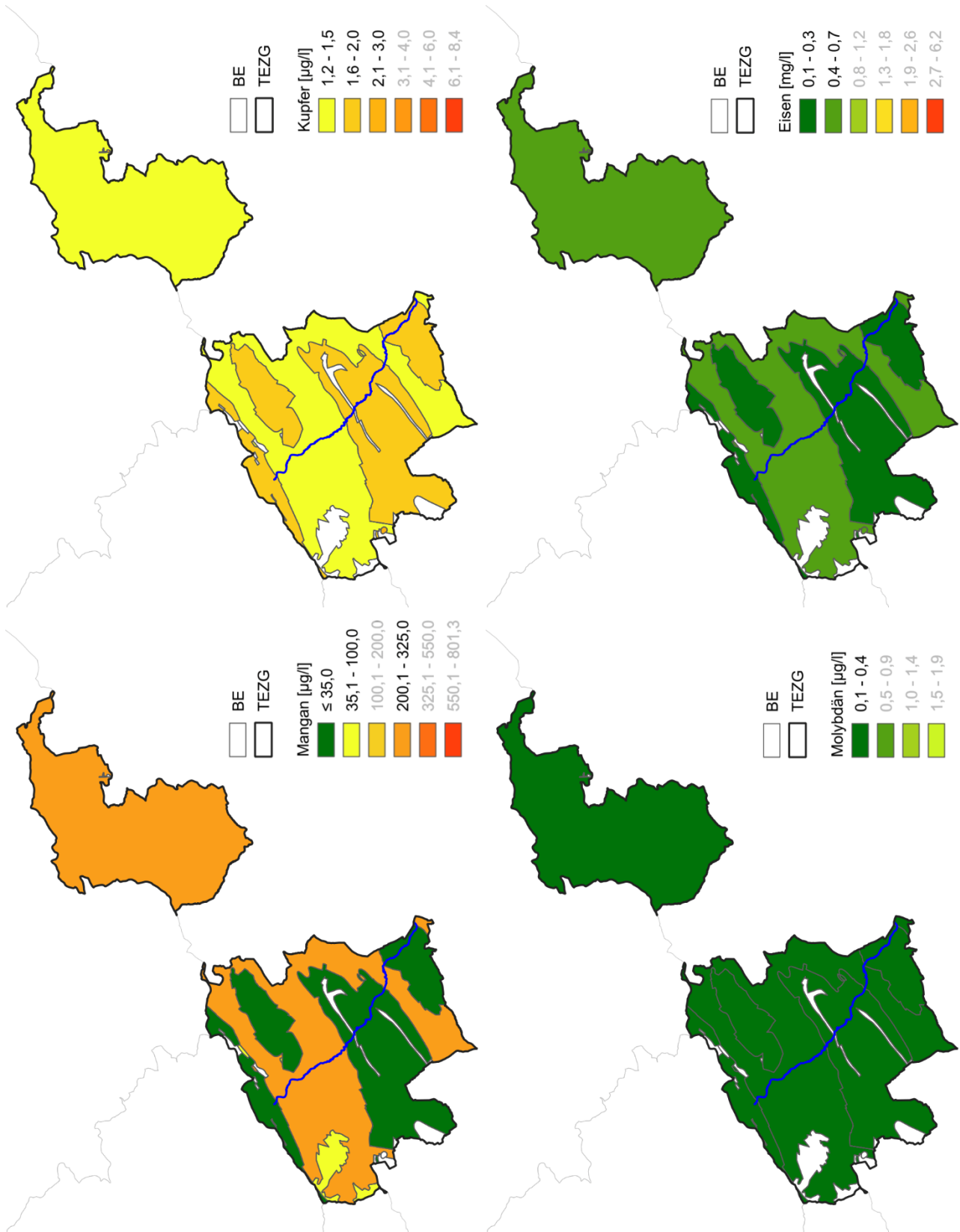


Abb. 15-5: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Mangan und Molybdän in den BE des TEZG Ahr

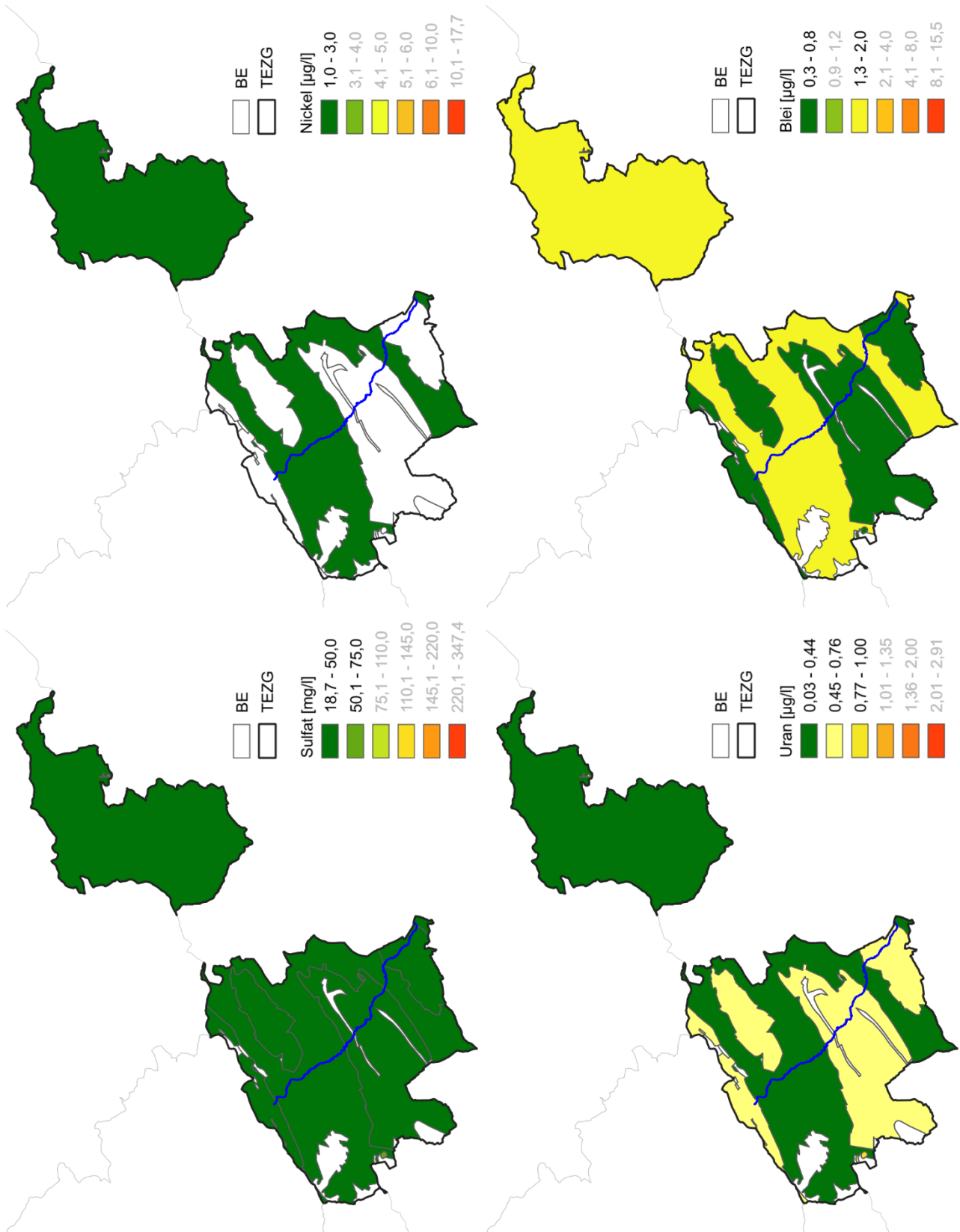


Abb. 15-6: HGW_{ges} für Nickel, Blei, Sulfat und Uran in den BE des TEZG Ahr

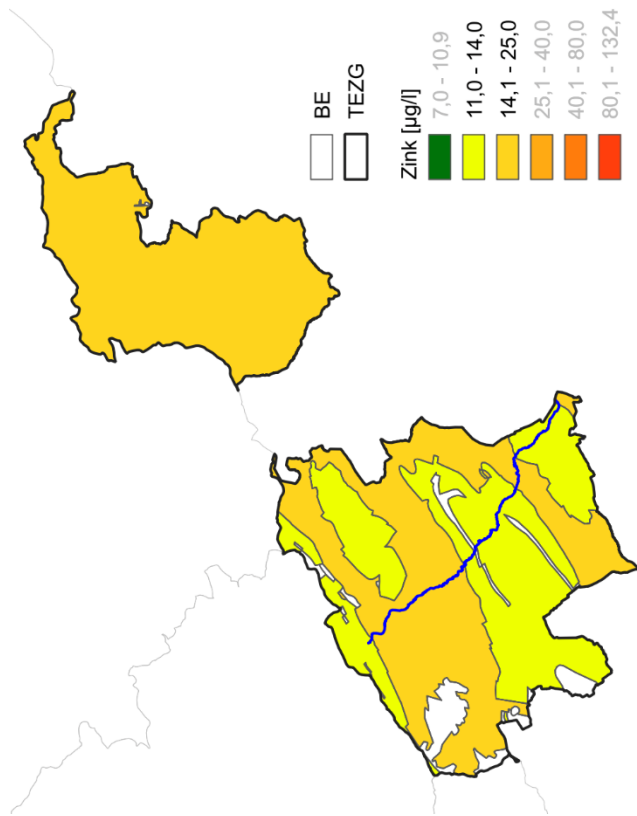


Abb. 15-7: HGW_{ges} für Zink in den BE des TEZG Ahr

16 Erft

16.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Erft erstreckt sich innerhalb von NRW über eine Fläche von 1 809 km². Es wird ähnlich wie das TEZG der Rur durch eine naturräumliche Zweigliederung geprägt, deren Ursache in den unterschiedlichen geologischen und tektonischen Verhältnissen begründet ist. In den Karten der physischen Geographie (Abb. 16-1) und der Geologie (Abb. 16-2) ist dieser Zusammenhang deutlich erkennbar.

Der in etwa nördlich der Linie Nideggen – Meckenheim gelegene, morphologisch relativ ebene Bereich ist Teil der Niederrheinischen Tieflandbucht (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Die Verhältnisse sind sehr stark durch die landwirtschaftliche Nutzung dominiert. Darüber hinaus spielen bergbauliche Tätigkeiten eine große Rolle. Die bergbauliche Nutzung betrifft im Wesentlichen den Wasserhaushalt in größeren Bereichen der aktiven Braunkohlegewinnung und inaktiver Tagebaue. Landwirtschaft und Bergbau nehmen neben den Besiedlungsschwerpunkten Einfluss auf die Gewässerbeschaffenheit.

Hauptgewässer im Lockergesteinsbereich sind die Erft sowie die Swist. Die Nebengewässer Kleine Erft, Gillbach, Norf, Finkelbach, Schießbach, Eulenbach, Steinbach sowie diverse Fließe und Gräben entwässern ebenfalls den Flachlandbereich. Einige Gewässer sind stark verändert (HMWB), durch Grundwasserstandabsenkungen indirekt beeinflusst oder durch Einleitungen von Sumpfungswässern aus der Braunkohlegewinnung betroffen.

Im südlichen, morphologisch deutlich höher gelegenen Mittelgebirgsbereich der Eifel stehen die gefalteten paläozoischen Festgesteine des Rheinischen Schiefergebirges an, denen bei Maubach – Mechernich in einer flachen Mulde die mesozoischen Festgesteine der südwestdeutschen Trias aufliegen. Die für das TEZG der Rur beschriebenen unterschiedlichen hydrogeologischen bzw. hydrologisch-klimatischen Randbedingungen im Vergleich Mittelgebirge zu Flachlandbereich gelten für das TEZG der Erft gleichermaßen. So liegen auch hier für die beiden Bereiche eine unterschiedliche Dichte an Quellen und verschiedene Ausprägungen der Drainagenetze vor.

Der Festgesteinsbereich des TEZG Erft ist durch forstliche Nutzung geprägt; auf den Verebnungsflächen und in der Voreifel liegen jedoch auch ausgedehnte landwirtschaftlich genutzte Flächen vor. Erzlagerstätten und bergbauliche Tätigkeiten in diesen erzhöflichen Bereichen stellen ebenfalls einen entscheidenden Faktor in Bezug auf die Gewässerbeschaffenheit dar. Hauptgewässer im Festgesteinsbereich sind der Oberlauf der Erft und der Rothbach. Als größere Nebengewässer sind Neffelbach, Muldenauer Bach, Veybach, Rotbach, Eselsbach, Vlattener Bach und Bleibach zu nennen.

Eine Besonderheit sind die in diesem Raum vorhandenen Entwässerungstollen aus dem Erzbergbau. Die Wässer der (heute inaktiven) Bergwerke werden in die Bäche abgeschlagen. Als größter Entwässerungstollen mit einer Schüttung von im Mittel ca. 330 l/s sei hier der Burgveyer Stollen genannt, der Wasser aus einem ehemaligen Erzrevier bei Mechernich in den Veybach ableitet. Der Stollen entwässert auch einen nicht eindeutig zu quantifizierenden Teil der südlich anschließenden Sötenicher Mulde.

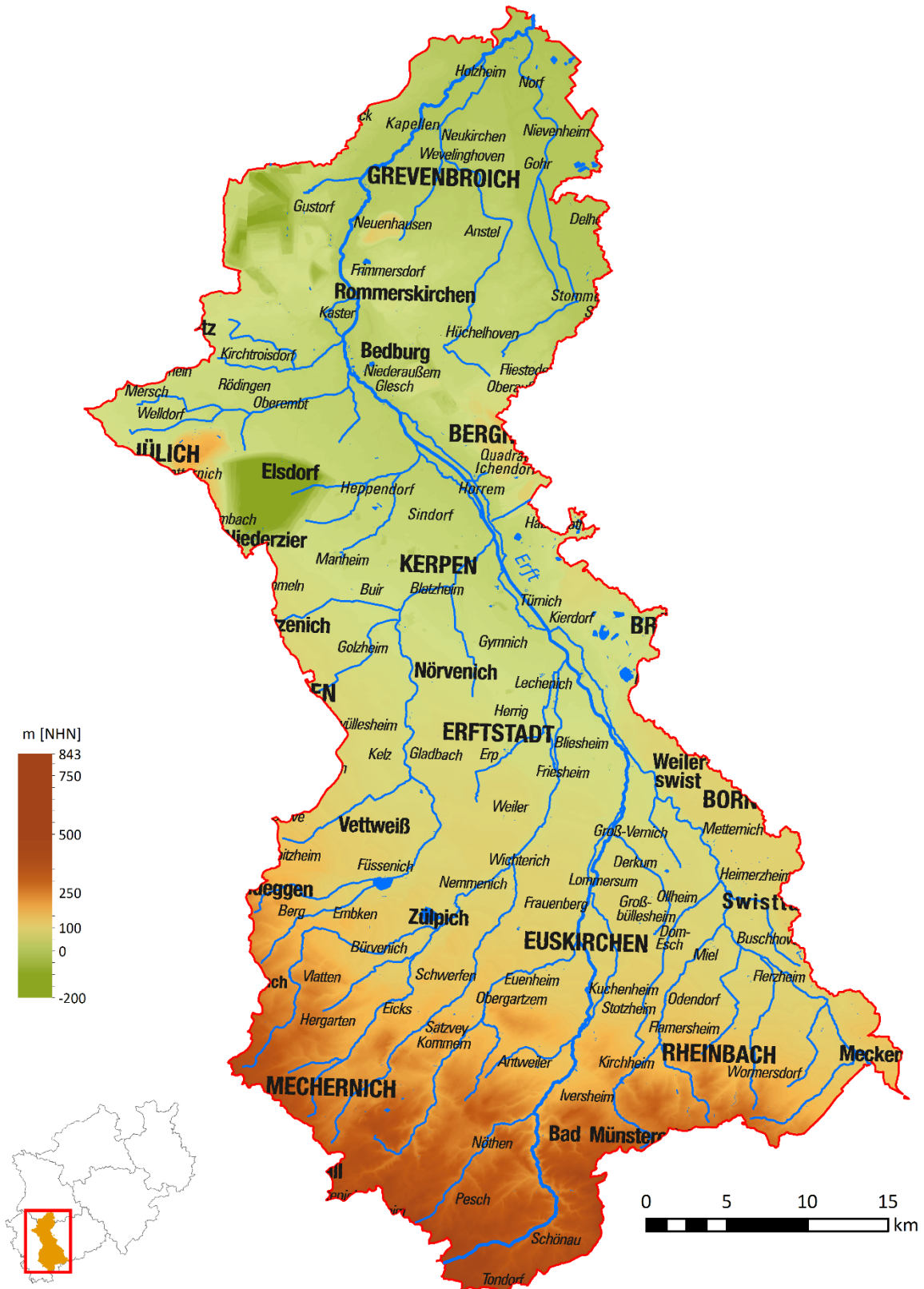


Abb. 16-1: TEZG Erft

Geologie/Hydrogeologie

Der südliche Festgesteinsbereich der Eifel wird von gefalteten, Südwest – Nordost streichenden unterdevonischen Tonschiefern, Schluffsteinen und Sandsteinen mit in der Regel silikatischem Gesteinscharakter geprägt. Die silikatischen Gesteine stellen Kluftgrundwasserleiter mit sehr geringer bis mäßiger hydraulischer Leitfähigkeit dar. Etwas erhöhte Wasserwegsamkeiten liegen in tektonisch beanspruchten Bereichen in Streichrichtung und im Bereich querschlägiger Störungen vor (Ad-hoc AG Hydrogeologie 2016). Der generelle Grundwasser Abstrom erfolgt in Richtung Niederrheinische Bucht.

Daneben werden wesentliche Ausstrichbereiche von mittel- bis oberdevonischen Karbonatgesteinen eingenommen (Sötenicher Mulde und Nordostteil der Blankenheimer Mulde). Bei den Karbonaten handelt es sich um Kalksteine bis Kalkmergelsteine; häufig sind diese dolomitisiert. Die Karbonatgesteine sind in der Regel verkarstet und bilden Karstgrundwasserleiter von wasserwirtschaftlicher Bedeutung. Entlang von querschlägigen Störungen, durch die der Strömungsquerschnitt im Karstaquifer eingeengt wird, oder wo die Karbonate ausbeißen, entspringen Karstquellen. So hat auch die Erft ihren Ursprung im Nordostteil der Blankenheimer Mulde.

Die Gesteine des Maubach-Mechernicher Triasdreiecks liegen diskordant, in einer keilförmigen Senke, auf den paläozoischen Einheiten der Eifel auf. Die einzelnen Schichtglieder fallen flach zur Mitte hin ein. Dabei handelt es sich überwiegend um Konglomerate, Sandsteine und Tonsteine des Buntsandsteins. Untergeordnet sind Tonsteine, Sandsteine und Dolomite des Muschelkalks und des Keupers verbreitet. Der Gesteinscharakter ist überwiegend silikatisch und karbonatisch, bei Gesteinen des Keupers kann er auch sulfatisch ausgeprägt sein.

Die Sandsteine und Konglomerate des Mittleren Buntsandsteins bilden Kluft-/Porengrundwasserleiter mit mittlerer bis guter Durchlässigkeit. Sie werden großflächig von geringer durchlässigen Einheiten des Oberen Buntsandsteins überdeckt. Die im Übergangsbereich zur Niederrheinischen Bucht anstehenden Gesteine des Muschelkalks und des Keupers sind aufgrund der starken tektonischen Beanspruchung (Randabbrüche am Gebirgsrand) in kleinere Teilschollen mit zum Teil erhöhten Wasserwegsamkeiten zerstückelt. Die Karbonate des Oberen Muschelkalks sind verkarstet und bilden gute Grundwasserleiter.

Der Grundwasserabstrom innerhalb des zum TEZG Erft gehörenden Maubach-Mechernicher Triasdreiecks ist zur Niederrheinischen Bucht hin gerichtet. An den Randstörungen mit entsprechenden Versätzen kommt es dabei zu Aufstiegen tieferer Grundwässer und Austritten in Verwerfungsquellen.

Der gesamte, durch tektonische Störungen stark zergliederte Flachlandbereich des TEZG Erft wird von quartärzeitlichen Terrassensedimenten (Kiesen und Sanden) und von Feinsanden, Schluffen und Tonen sowie Braunkohleflözen des Tertiärs eingenommen. Die quartären Terrassensedimente stellen gut durchlässige Porengrundwasserleiter dar, die sandigen tertiärzeitlichen Sedimente sind mäßig bis gering durchlässig. Die Tonhorizonte und Braunkohleflöze als Grundwasserstauer führen in weiten Teilen zu einem intensiven Grundwasserstockwerksbau. Bereichsweise bilden die tertiären Folgen und das Quartär gemeinsame hydraulisch gekoppelte Grundwasserstockwerke aus.

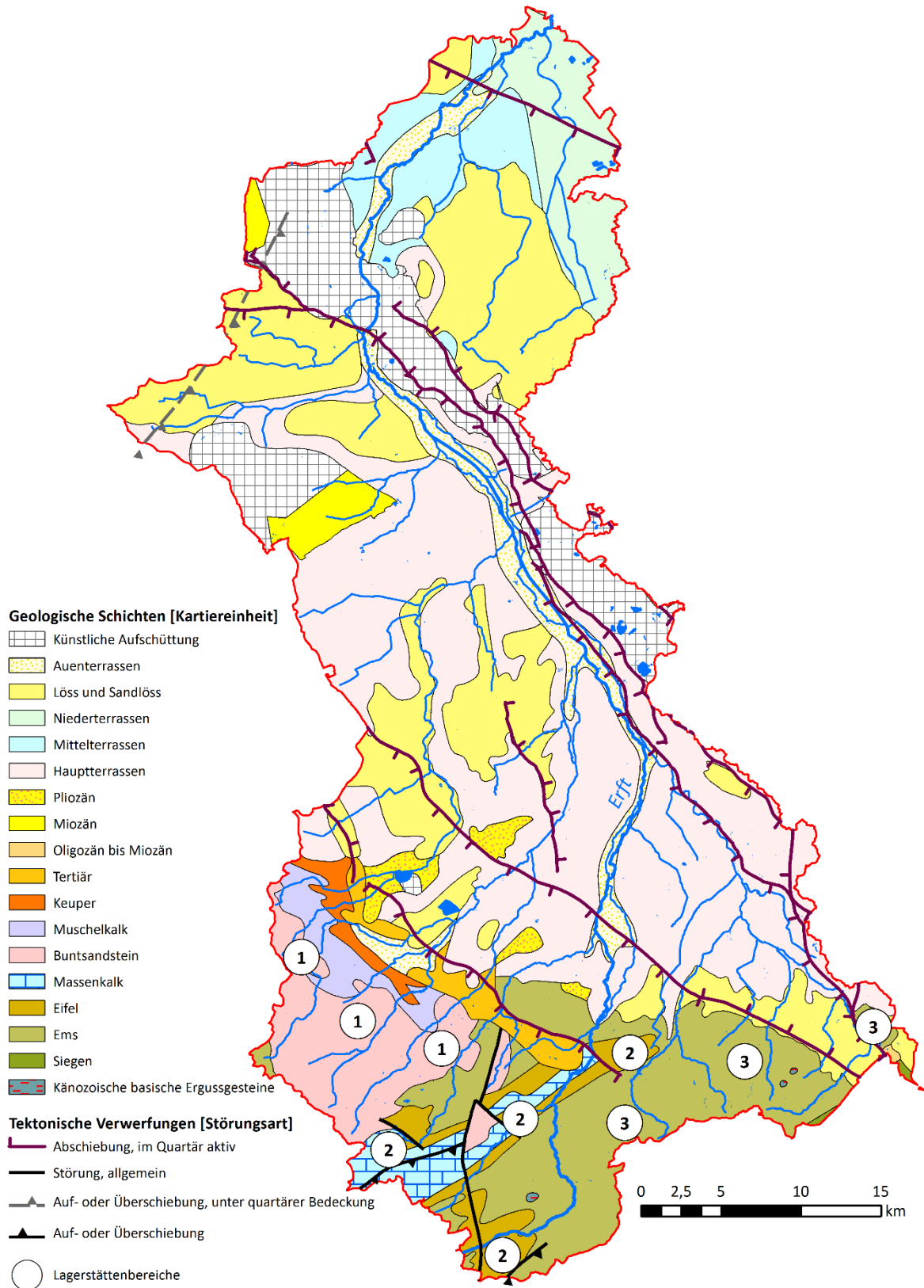


Abb. 16-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Erft

Vor den sumpfungsbedingten Druckabsenkungen in den tieferen Stockwerken waren viele an tiefreichende Störungen gebundene Aufstiege von älterem und höher mineralisiertem Grundwasser belegt (SCHNEIDER & THIELE 1965). Es wird nicht ausgeschlossen, dass solche bereichsweise noch vorliegen und höher mineralisierte Grundwässer sich dort dem oberflächennahen Grundwasser zumischen.

Die meisten der Gewässer weisen Grundwasseranschluss auf und werden in ihrer Beschaffenheit im Wesentlichen durch die Zusammensetzung des zuströmenden Grundwassers geprägt. Gewässerbegleitend sind im Flachlandbereich Anmoor- und Niedermoorgebiete sowie Auenniederungen vorhanden, welche im Zusammenhang mit den zu betrachtenden Metallen (Festlegung, Mobilisierung) von Relevanz sein können.

Als Ausgangssubstrat für die Bodenbildung bestimmt das Stoffinventar der Gesteine die zu erwartenden geogenen Metallgehalte in den Böden. Dabei ist in der Regel eine Zunahme der Stoffkonzentrationen von sandigen über sandig-schluffige, schluffig-sandige zu tonigen Böden zu beobachten (LABO 2003; FELDWISCH & LENDVACZKY 2015). In dem TEZG Erft liegen überwiegend schluffig-sandige bis tonige Böden vor.

Lagerstätten und Mineralisation

Die zuvor beschriebenen Gesteine sind bezüglich der zu untersuchenden Metalle und Halbmetalle unterschiedlich geogen vorgeprägt. In den Tonsteinen des Schiefergebirges liegen aufgrund ihrer Genese per se erhöhte Schwermetallgehalte vor; anoxische Milieubedingungen führten hier zur Bindung von Schwermetallen in den ursprünglichen marinen Sedimentschlammern (WEDEPOHL 1995; MERKEL & SPERLING 1998). In den mesozoischen Tonsteinen und den tertiären Tonen sind ebenfalls im Vergleich zu den sand- bzw. sandsteindominierten Einheiten erhöhte Metallkonzentrationen vorhanden (HORNBURG 2003).

Die bedeutendste Erzlagerstätte im TEZG Erft ist der **Erzbezirk von Maubach – Mechernich** (Abb. 16-2: Markierung 1) (SCHALICH & SCHNEIDER & STADLER 1986). Postvariszisch aus dem tieferen Untergrund aufgestiegene hydrothermale Lösungen sind hier in permeable Gesteine des mesozoischen Deckgebirges eingedrungen (KRAHN & FRIEDRICH 1991) und haben diese imprägniert. Nach GERMANN & FRIEDRICH (1999) stellt das Buntmetallvorkommen der Mechernicher Triasbucht die größte Bleiakkumulation in Mitteleuropa dar. Neben dem Bleiglanz sind auch die Vorkommen an Zinkblende, Kupferkies, Pyrit und Bravoit (nickelhaltige Varietät des Pyrits) bedeutsam. Aus der Spätphase der Vererzung ist, wenn auch untergeordnet, Baryt als gangförmige Anreicherung auf Verwerfungen oder Zerrüttungszonen bekannt.

In Paragenesen mit den genannten Mineralen treten auch Arsen-, Silber-, Cadmium- und Kobalterze auf. Seit historischer Zeit bis in das 20. Jahrhundert wurden in diesem Revier sehr große Mengen Buntmetallerze, vor allem Bleierze, gewonnen. Trotzdem sind die noch vorhandenen Erzvorräte weiterhin groß und führen – neben dem Einfluss aus den früheren bergbaulichen Aktivitäten – zu einer anhaltenden geogenen Belastung der Erft und ihrer tributären Bäche (CHRISTOFFELS & SCHINDLER 1996).

Südlich des Erzbezirkes von Maubach – Mechernich schließt sich der östliche Teil des **Eifeler Roteisenstein-Bezirks** (Abb. 16-2: Markierung 2) an. Hier bilden primär marin-sedimentär entstandene Eisenooide innerhalb der unterdevonischen Gesteine bis zu 4 m mächtige, flözähnliche Erzlager (Eisenoolithe) aus (SIMON 1979).

Im Südosten erstreckt sich das TEZG Erft bis in den **Osteifeler Erzbezirk** (Abb. 16-2: Markierung 3) hinein. Hier liegen sowohl variszisch als auch postvariszisch entstandene Vererzungen vor (REPPKE 1993). Beide Phasen, die Mobilisierung der Metalle während der Gebirgsbildung und auch der postvariszische Aufstieg von metallhaltigen hydrothermalen Lösungen, führten hier in den impermeablen Gesteinen des Unterdevons zu gangförmigen Vererzungen. Die Erzvergesellschaftung ist ähnlich den Buntmetall-mineralisationen im Erzbezirk von Maubach – Mechernich.

Im südwestlichen TEZG Erft liegen im Bereich Heimerzheim bis Kierdorf auf der Teilscholle zwischen Swistsprung und Erftsprung mehrere **Berechtsame** (aufrechterhaltene Bergwerkseigentümer) auf den Bodenschatz Eisen vor. Die Gewinnungsrechte legen nahe, dass hier im Untergrund auch entsprechende, vermutlich an die Störungen gebundene Erzvorkommen vorhanden sind. Weiter nördlich, bei Türnich und Grefrath, sind im tektonisch stärker gestörten Übergangsbereich zur Kölner Scholle Erzgänge bekannt.

In den Erftauen und in den moorigen und anmoorigen Niederungsbereichen der Nebengewässer ist von dem Vorhandensein von **Raseneisenerzen** auszugehen.

16.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 16-3 und Tabelle 16-1 wird ein Überblick über die im TEZG Erft abgegrenzten BE gegeben.

Die BE 02K2.2 und 08K7.1 nehmen im Vergleich zu BE 02K2.3 nur sehr geringe Flächenanteile mit nicht ausreichender Datendichte ein, daher wurden die Datensätze der drei genannten tertiären BE größtenteils aggregiert und gemeinsam ausgewertet.

Die BE der quartären Sande und Kiese 02K1.3 wurde zur Auswertung in die drei Einheiten Nord, Süd und West differenziert. Damit wurde dem Rechnung getragen, dass diese drei Teilbereiche aus sehr unterschiedlichen oberstromigen Einheiten angeströmt werden: Die Einheit Süd liegt unterhalb paläozoischer Gesteine und ihrer begleitenden Erzvorkommen, die Einheit West wird überwiegend aus mesozoischen Gesteinen und dem dortigen Erzbezirk angeströmt und die Einheit Nord ist stark durch das Tertiär und die Braunkohlegewinnung geprägt. Das Erfordernis der Disaggregation der entsprechenden Datensätze und der getrennten Auswertung dieser Teilbereiche zeigt sich auch im Wahrscheinlichkeitsnetz.

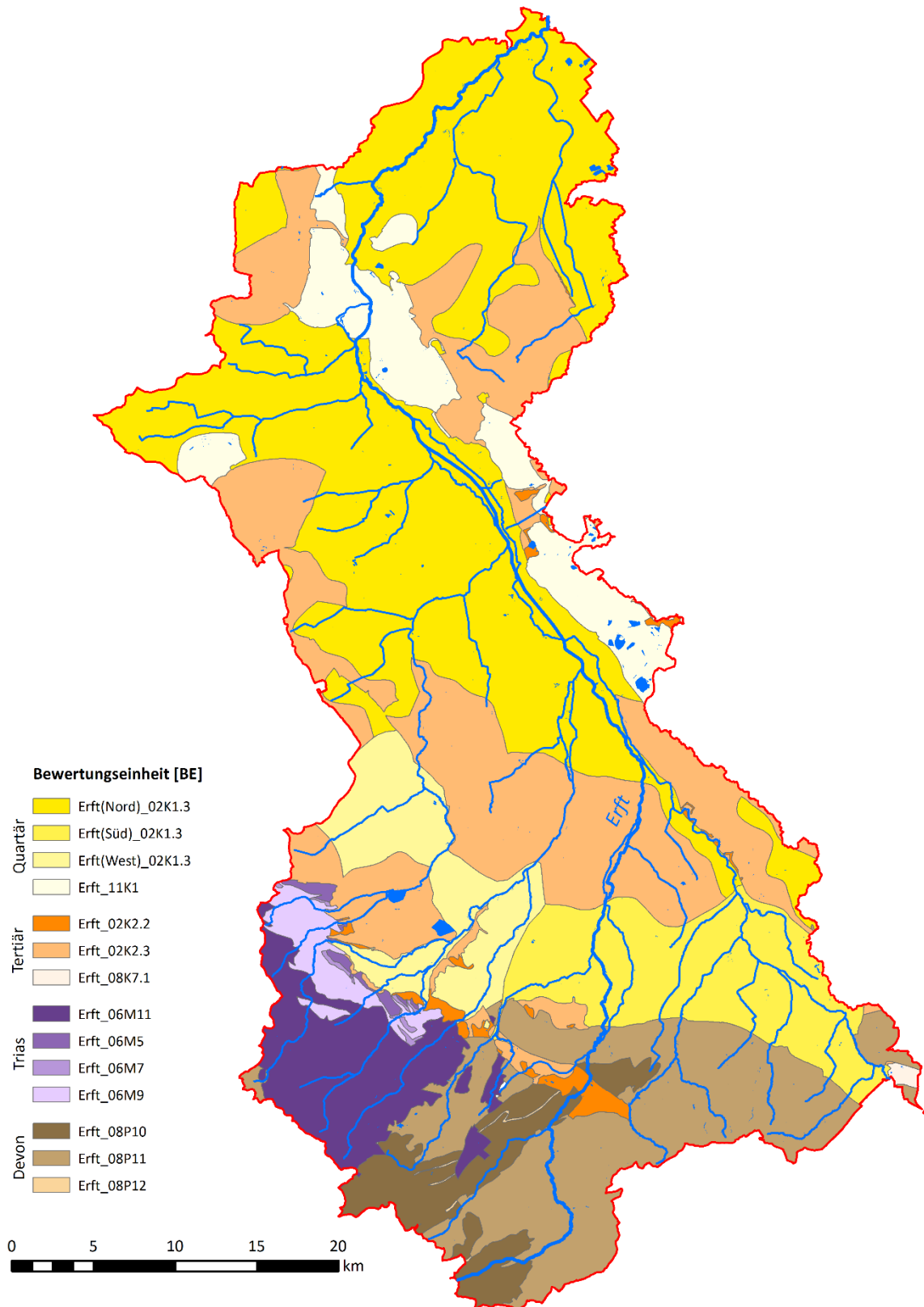


Abb. 16-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Erft

Einige BE konnten nicht ausgewertet werden, da nicht ausreichend Messstellen zur Verfügung standen. Betroffen sind die Einheiten 06M5 und 06M7. Diese Einheiten haben nur einen schmalen oder kleinräumigen Ausbiss, sodass Gewässer die Einheit nur in einem kurzen Stück anschneiden und kaum oder keine repräsentativen Messstellen für die BE existieren. Bei den in Abbildung 16-2 dargestellten anthropogen überprägten Flächen handelt es sich um aktive Braunkohletagebaubereiche und ehemalige (verfüllte) Tagebaue. Die anthropogenen Flächen sind in der BE 11K1 zusammengefasst und wurden in der Auswertung nicht weiter betrachtet.

Tab. 16-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Erft

Erft_		Fläche [km²]
(Nord)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	614,7
(Süd)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	147,4
(West)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	99,8
02K2.2	Braunkohlentertiär	17,2
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	388,7
08K7.1	tertiäre Sedimente	2,1
06M11	Buntsandstein, ungegliedert	98,6
06M5	mittlerer und oberer Keuper, klastisch	5,1
06M7	unterer Keuper	2,2
06M9	Muschelkalk ungegliedert, karbonatisch-klastisch	26,5
08P10	paläozoische Karbonate	70,2
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	218,4
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	1,2
11K1	Quartär, anthropogen (Tagebaubereiche)	117,1

16.3 Ergebnisse

In Tabelle 16-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 16-4 bis 16-8 in Karten dargestellt.

Unter den im TEZG Erft ermittelten HGW heben sich die des Buntsandsteins im Erzbezirk von Maubach – Mechernich hervor (BE 06M11). Die gegenüber den Beurteilungswerten deutlich erhöhten HGW bei den Parametern Blei, Nickel und Kupfer sind auf die dortigen Lagerstätten zurückzuführen. Auch für Uran kann ein Zusammenhang mit dem Aufstieg hydrothermalen Lösungen in die mesozoischen Gesteine vermutet werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich Blei aufgrund seiner hohen Partikel-Affinität (s. auch Kap. 4.3, Abb. 4-6) rasch in den Bachsedimenten der unterstromigen FWK anreichert, d. h. in der Wasserphase abreichert (CHRISTOFFELS 1989), sodass Bleikonzentrationen in der Wasserphase bereits über verhältnismäßig kurze Fließstrecken abnehmen.

Tab. 16-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Erft							
		(Nord) 02K1.3	(Süd) 02K1.3	(West) 02K1.3	02K2.2 02K2.3	06M11	06M9	08P10	08P11
Ag	n > BG	7	7	7					
	50. P.	0,004	0,004	0,004					
	90. P.	0,010	0,010	0,010	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,021	0,021	0,021					
As	n > BG	14	13	11	8	10	8	9	14
	50. P.	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5
	90. P.	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,5	0,8
	Max. N.	1,3	1,1	1,1	1,3	1,0	0,9	0,6	1,0
B	n > BG	15							
	50. P.	52,2							
	90. P.	84,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	98,5							
Ba	n > BG	17	15		10	13	8	9	17
	50. P.	41,3	24,6		58,8	60,8	168,8	10,0	18,0
	90. P.	63,9	46,8	n.a.	103,6	281,0	289,0	31,6	37,9
	Max. N.	75,9	53,0		120,0	330,0	290,0	38,0	62,2
Be	n > BG								
	50. P.								
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.								
Cd	n > BG	15	12	8	11	9	7	6	13
	50. P.	0,03	0,03	0,02	0,07	0,03	0,01	0,02	0,00
	90. P.	0,05	0,05	0,03	0,55	0,08	0,03	0,04	0,07
	Max. N.	0,05	0,07	0,03	0,73	0,09	0,04	0,03	0,30
Co	n > BG	10	11	7	10	11	8	8	15
	50. P.	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
	90. P.	0,5	0,4	0,7	1,0	0,4	0,4	0,2	0,4
	Max. N.	0,5	0,4	0,7	2,0	0,5	0,4	0,2	0,8
Cr	n > BG		8	8	12	11			
	50. P.		0,0	0,0	0,4	0,4			
	90. P.	n.a.	0,9	0,9	0,9	0,9	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.		28,0	28,0	1,0	0,9			
Cu	n > BG	29	42	23	39	40	13	15	107
	50. P.	2,8	2,0	1,6	1,6	1,9	1,0	1,2	1,6
	90. P.	4,0	4,1	3,0	4,4	5,2	1,5	3,4	3,4
	Max. N.	4,8	5,2	5,0	7,8	7,0	1,5	5,7	7,0
Fe	n > BG	42	26	15	14	17	12	13	27
	50. P.	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
	90. P.	0,8	0,6	0,6	0,7	0,4	0,4	0,3	0,5
	Max. N.	1,5	1,4	0,8	0,9	0,9	0,4	0,3	0,7
Hg	n > BG								
	50. P.								
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.								

Fortsetzung von Tabelle 16-2

Parameter	Kennwert	Erft							
		(Nord) 02K1.3	(Süd) 02K1.3	(West) 02K1.3	02K2.2 02K2.3	06M11	06M9	08P10	08P11
Mn	n > BG	29	25	25	10	18	7	8	21
	50. P.	27,6	51,0	51,0	17,2	1,3	22,1	18,5	37,6
	90. P.	79,1	198,9	198,9	130,4	62,5	51,7	30,4	304,7
	Max. N.	160,0	159,0	159,0	240,0	165,0	63,0	45,0	326,0
Mo	n > BG	14	23	23				10	8
	50. P.	0,5	0,3	0,3				0,0	0,1
	90. P.	0,8	0,9	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	0,2	0,3
	Max. N.	1,1	1,0	1,0				0,6	0,7
Ni	n > BG	24	22	18	18	18		17	39
	50. P.	3,1	1,9	1,8	2,2	4,5		1,7	3,4
	90. P.	4,2	3,6	3,6	4,6	17,4	n.a.	3,9	7,3
	Max. N.	5,0	5,0	5,0	6,0	30,0		5,0	12,0
Pb	n > BG	12	15	24	8	14	7	7	14
	50. P.	0,6	0,8	1,9	1,1	2,4	0,3	0,5	0,6
	90. P.	2,2	3,3	5,1	3,8	11,2	1,1	2,4	2,2
	Max. N.	4,2	4,1	6,0	5,0	16,0	1,2	4,0	3,0
Se	n > BG	8	8	8					
	50. P.	0,2	0,2	0,2					
	90. P.	0,5	0,5	0,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,3	1,3	1,3					
SO ₄	n > BG	30	52	21	24	35	11	20	36
	50. P.	70,9	55,2	53,8	80,9	25,8	45,1	25,1	25,7
	90. P.	120,1	100,7	101,8	129,2	57,2	83,7	34,0	39,0
	Max. N.	141,0	130,0	146,0	159,0	69,0	92,0	38,0	45,3
Ti	n > BG								
	50. P.								
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tl	n > BG	9	9	9	5				
	50. P.	0,03	0,03	0,03	0,02				
	90. P.	0,06	0,06	0,06	0,06	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,07	0,07	0,07	0,08				
U	n > BG	14	10	31	9	25	18	19	6
	50. P.	0,78	0,59	1,36	1,17	1,49	1,65	0,41	0,40
	90. P.	1,41	1,21	2,26	2,63	2,91	2,76	0,59	0,82
	Max. N.	1,80	1,50	2,40	3,10	3,01	2,80	0,72	1,00
V	n > BG	19	11		7	6			6
	50. P.	1,0	0,8		0,7	1,0			0,3
	90. P.	1,5	1,5	n.a.	1,1	1,8	n.a.	n.a.	0,4
	Max. N.	1,7	2,3		1,2	2,2			0,4
Zn	n > BG	16	25	22	23	24	14	17	79
	50. P.	11,3	10,7	14,6	19,2	14,7	6,6	10,3	8,5
	90. P.	25,3	15,4	33,0	51,7	33,9	10,2	28,2	21,3
	Max. N.	30,0	18,0	42,0	76,0	51,0	13,0	30,0	40,0

Auffällig sind die ermittelten hohen HGW für Barium in den BE 06M11 (Buntsandstein) und 06M9 (Muschelkalk). Wie bereits für das TEZG Rur erläutert (Kap. 13.3), wird im Erzbezirk von Maubach – Mechernich als Hauptquelle für Barium die Zersetzung der Kalifeldspäte angesehen. Daneben sind als weitere Bariumquellen im Bereich von Verwerfungen auftretende Barytgänge zu nennen; diese wurden früher als Leitmineral für die Gewinnung von Zinkblende verwendet (STADLER 1977).

Im Muschelkalk wurde mit 289 µg/l ein gegenüber dem Buntsandstein noch etwas höherer Barium-HGW ermittelt. Zwar sind in den tektonisch kleinteilig zerstückelten Teilschollen des Muschelkalks (und des Keupers) in der Nähe des Gebirgsrandes auch Vererzungen bekannt, die Ursache für die hohen Bariumgehalte wird jedoch eher in den hier verwendeten Analysen aus Verwerfungsquellen gesehen. Dabei handelt es sich um aufsteigende ältere Grundwässer, die im Muschelkalk austreten, von ihrer Zusammensetzung her aber den bedeckten Buntsandstein repräsentieren.

In den tertiären BE ergaben sich erwartungsgemäß ebenfalls höhere HGW. So wurde für Barium ein HGW von 103,6 µg/l ermittelt. In marinen tertiären Sedimenten, insbesondere in den Tonen, liegen häufig hohe Bariumgehalte vor (WEDEPOHL 1960; FISCHER & PUCHELT 1974; HORNBERG 2003). In den sandigen Einheiten des Tertiärs sind die Bariumgehalte im Wesentlichen von den Anteilen an Glimmer und an Kalifeldspäten im Sediment abhängig (FISCHER & PUCHELT 1974), da in diesen zum Teil Kalium durch Barium ersetzt ist. In den tonigen Einheiten des Tertiärs und in der Braunkohle können verstärkt Schwermetalle, wie z. B. Kupfer, Uran, Cadmium oder Zink, vorliegen.

Der für die BE 08P11 für Nickel ermittelte HGW von 7,3 µg/l ist im Wesentlichen durch die Buntmetall-mineralisationen im Osteifeler Erzbezirk verursacht. Daneben sind auch im Eifeler Roteisenstein-Bezirk höhere Nickelkonzentrationen zu erwarten. Gleiches gilt auch für den HGW von Mangan, der in der BE 08P11 mit 304,7 µg/l ermittelt wurde.

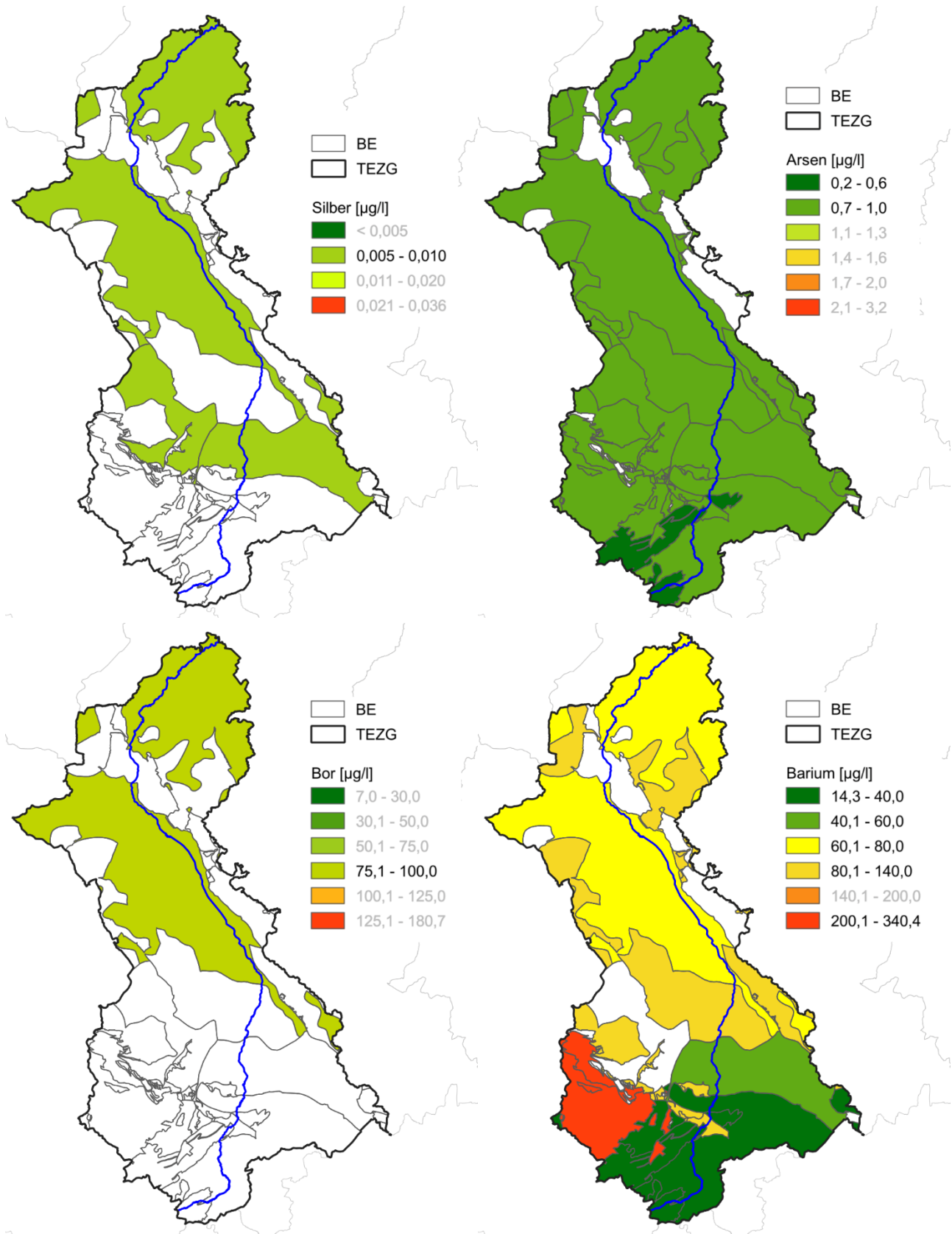


Abb. 16-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Erft

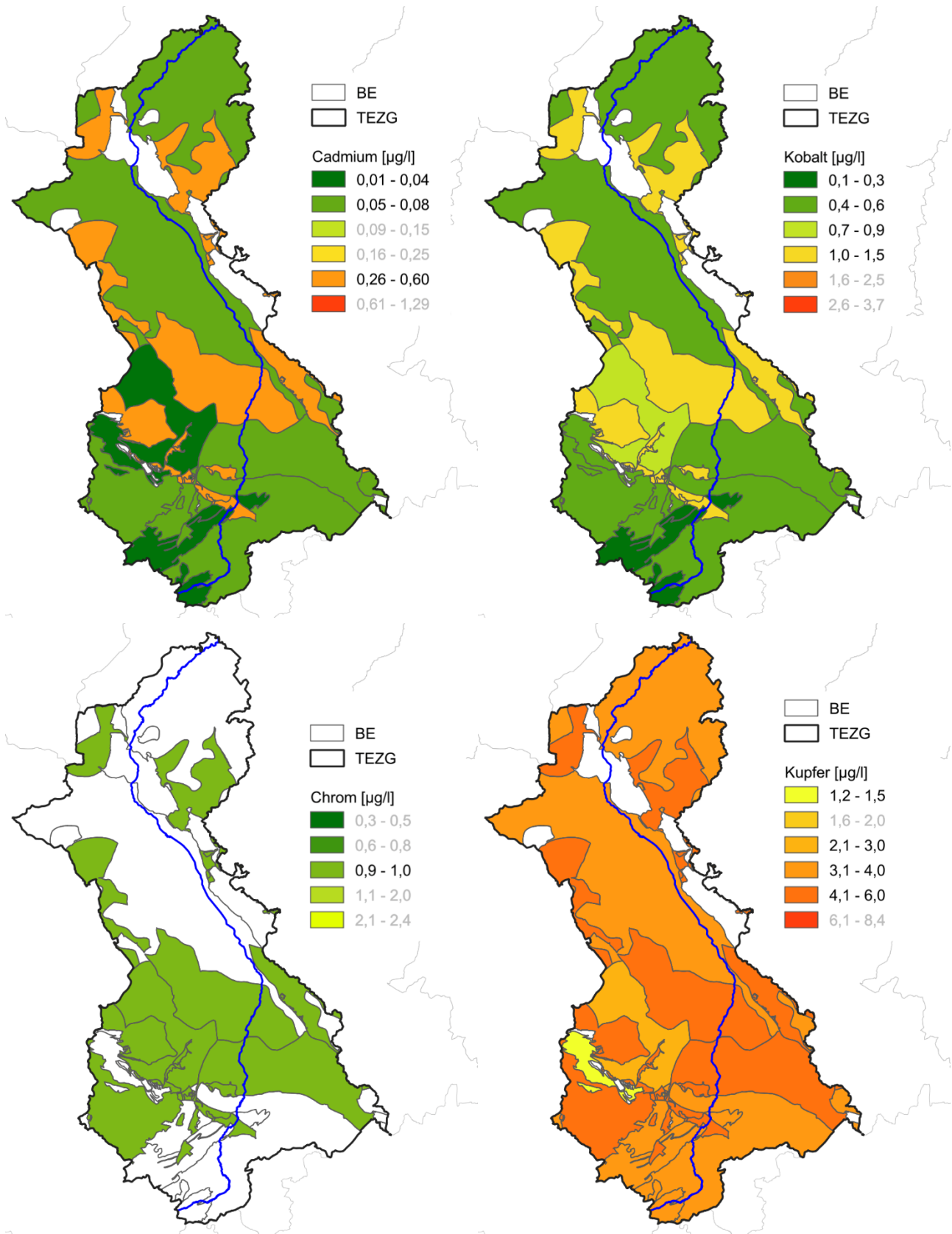


Abb. 16-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE des TEZG Erft

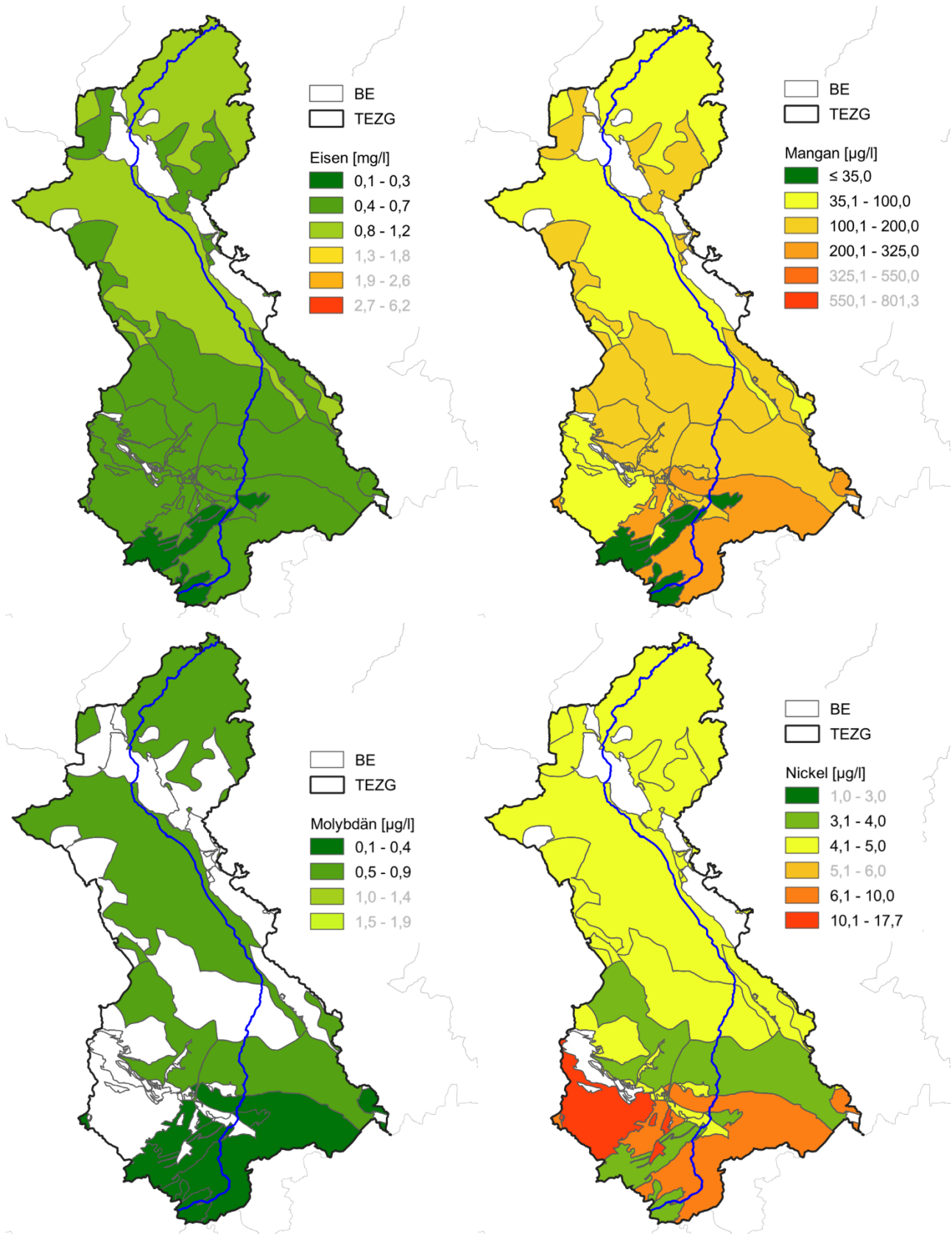


Abb. 16-6: HGW_{ges} für Eisen, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Erft

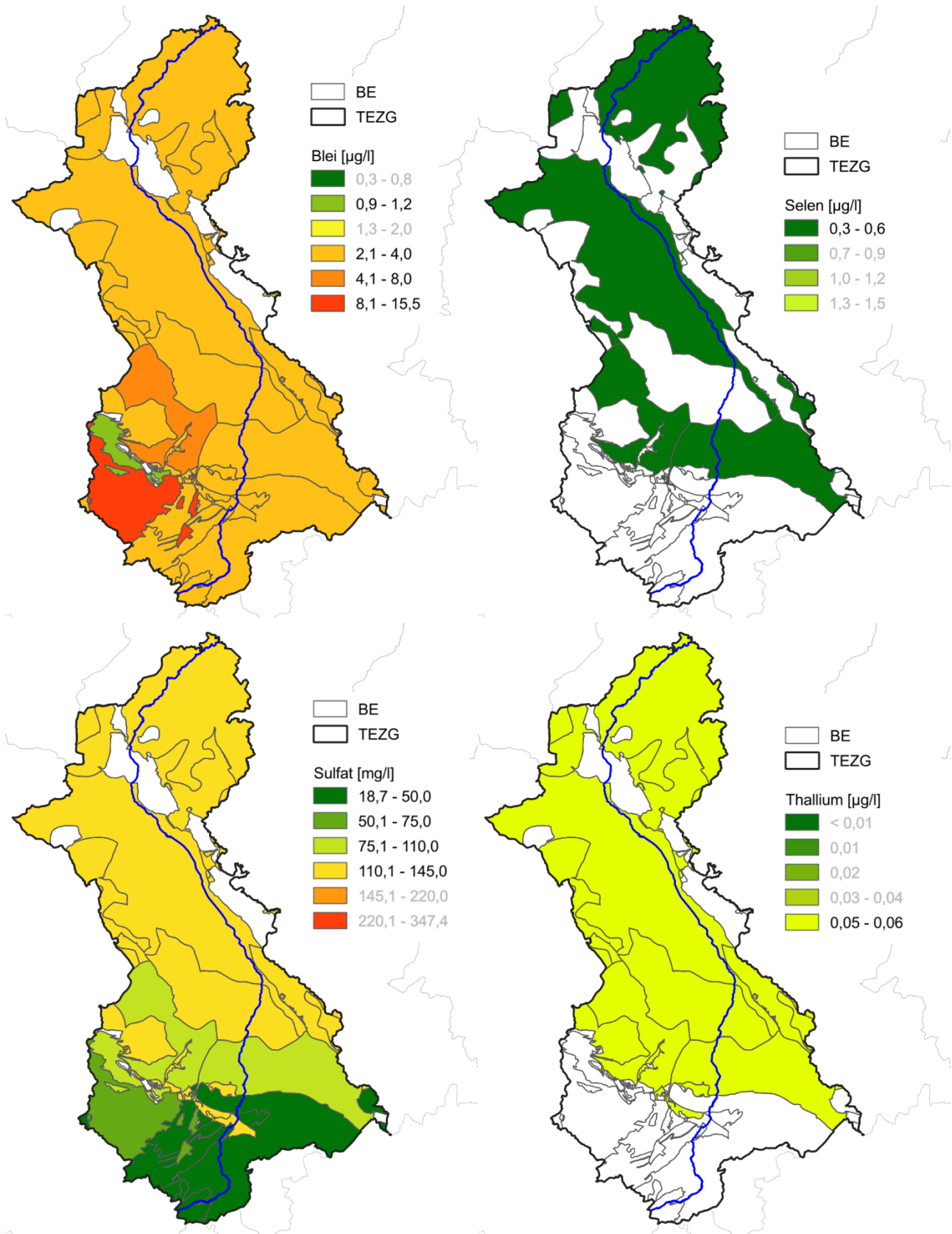


Abb. 16-7: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE des TEZG Erft

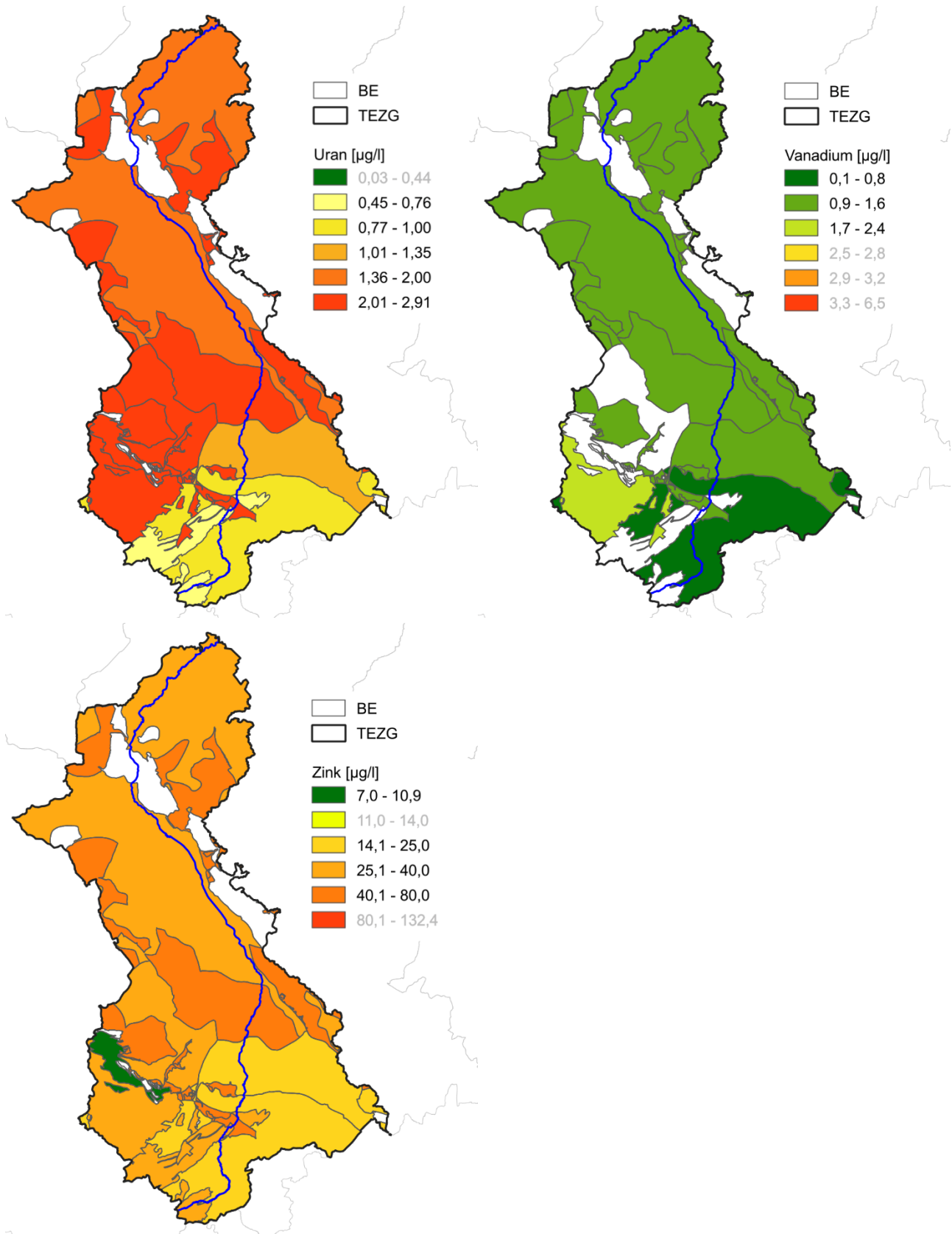


Abb. 16-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Erft

17 Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

17.1 Gebietsbeschreibung

Die TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord (MSN) werden wegen ihrer vergleichbaren naturräumlichen Verhältnisse im Folgenden als gemeinsamer Untersuchungsraum beschrieben. Sie nehmen in der Summe eine Fläche von 1 740 km² ein, welche ausschließlich innerhalb der Niederrheinischen Tieflandbucht (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016) liegt.

In der Abbildung 17-1 wird die physische Karte wiedergegeben, Abbildung 17-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb der hier beschriebenen TEZG. Morphologisch ist das Gesamtgebiet relativ flach, Ausnahmen bilden die Höhenzüge der Stauchmoränen im Nordosten und tektonisch bedingte Höhen in seiner Mitte und im Westen.

Das Gesamtgebiet ist stark durch landwirtschaftliche Intensivnutzung geprägt. Die damit einhergehende Aufbringung von Dünger induziert bereichsweise eine Erhöhung der Schwermetallmobilität infolge der Pyritoxidation durch Nitrat. Untersuchungen durch OBERMANN et al. (2001) zu den hier relevanten Prozessen im Auftrag des Landesumweltamtes NRW stellen die Wirkzusammenhänge im Detail dar; diese Untersuchungen wurden auch durch den Auftragnehmer des vorliegenden Projektes begleitet. Weitere vertiefende Ausarbeitungen hierzu erfolgten durch CREMER (2002). Die beschriebenen Prozesse können sich flächenhaft diffus auf die Grundwasserbeschaffenheit auswirken und damit auch auf die Schwermetallkonzentrationen in Oberflächengewässern mit Vorflutfunktion.

Die Höhenzüge und die sanddominierten Bereiche im Westen werden meist von Waldflächen eingenommen. Die dort zu beobachtende Versauerung der Böden hat Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Sickerwässern und auf das Grundwasser. In der Grundwassergüteüberwachung der Landesumweltverwaltung zeigt sich dies zum Teil in niedrigen pH-Werten, sehr hohen Nickel- und auch gegenüber dem Hintergrund deutlich erhöhten Kobaltkonzentrationen.

Im südlichsten Bereich sind Teilflächen der TEZG Niers und Schwalm von Auswirkungen der Braunkohlegewinnung betroffen. Das sind vor allem im näheren Tagebauumfeld Grundwasserabsenkungen im oberen freien Grundwasserstockwerk. Zur Stützung von Quellgebieten und der Ökologie von Feuchtgebieten wird hier Sumpfungswasser in den Untergrund infiltriert oder direkt in die Gewässer eingeleitet. Dieses sogenannte Ökowasser hat eine etwas andere Zusammensetzung als das Terrassengrundwasser; es wird vor Einleitung in Wasserwerken aufbereitet und hat in der Regel geringere Metallkonzentrationen. Im Rahmen des Monitorings für den Tagebau Garzweiler II wird die Ausbreitung der infiltrierten Wässer im Untergrund anhand der Hydrogenkarbonat-Konzentrationen verfolgt, d. h. die hiervon beeinflussten Bereiche sind bekannt. Weiter reichende Druckabsenkungen in den tieferen Stockwerken können auch indirekt westlich gelegene Gewässer und Feuchtgebiete beeinträchtigen. Auch hier wird bedarfsweise der Wasserhaushalt mit Sumpfungswasser gestützt.

Die Hauptgewässer in dem Untersuchungsraum sind Niers, Nette und Schwalm. Des Weiteren drainieren eine Vielzahl größerer Nebengewässer sowie nachgeordnete Gewässer das Gebiet. Viele der Haupt- und Nebengewässer sind zum Zweck der Landentwässerung verändert worden (HMWB); daneben existieren auch künstlich angelegte Gewässer wie Nierskanal, Leitgraben oder Spanische Ley (AWB).

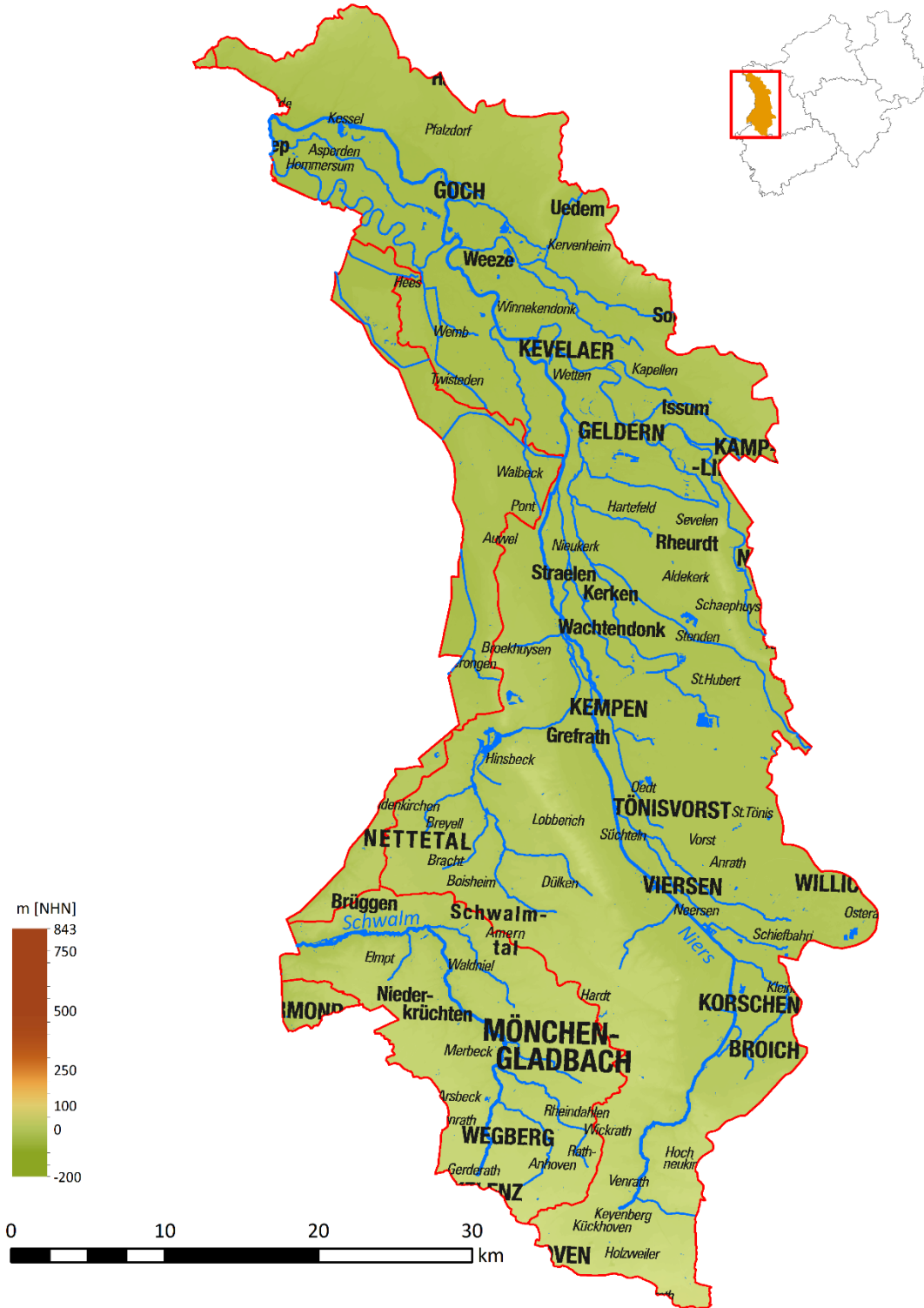


Abb. 17-1: TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

Geologie/Hydrogeologie

Ausschließlich quartär- und tertiärzeitliche Lockergesteine prägen das Gebiet. Dabei wird der überwiegende Teil des Untersuchungsraumes von quartärzeitlichen Sanden und Kiesen unterschiedlicher Terrassenniveaus eingenommen; die einzelnen Terrassen repräsentieren dabei unterschiedliche pleistozäne Eiszeiten. Bei den Kiessanden handelt es sich in der Regel um gut durchlässige Porengrundwasserleiter. Im Süden und bereichsweise im Westen sind vor allem Hauptterrassensedimente verbreitet, die Mitte wird durch großflächige Mittelterrassenbereiche geprägt. Im Norden und in der Niersniederung liegen großflächige Niederterrassenebenen vor. Der Gesteinsinhalt der Terrassenkiessande kann je nach Herkunft der Sedimente (Rhein, Maas) deutlich schwanken.

Die Reaktionszeiten des Wassers im Untergrund, d. h. die Summe aus den Verweilzeiten in der ungesättigten Zone und den Fließzeiten im Grundwasserleiter bis zu den Vorflutern, sind meist relativ hoch (WENDLAND et al. 2019). Dies ist zum einen auf die in weiten Teilen hohen Flurabstände und zum anderen auf das relativ geringe Gefälle des Grundwassers in den Terrassenkiessanden zurückzuführen.

Die glazialen Höhenzüge der Stauchmoränen im Nordosten und im Osten des Untersuchungsraumes bestehen hauptsächlich aus Schmelzwassersanden und untergeordnet aus aufgeschupptem Terrassenmaterial sowie tertiären Gesteinen. Die Mittelterrassenkiessande sind meist von gering mächtigem Lösslehm (< 2 m) bedeckt, im südlichsten Bereich kann der Lösslehm auf der Hauptterrasse auch größere Mächtigkeiten erreichen. Nach Westen hin und in Grenznähe überwiegen Sandlöss und Flugsand, bereichsweise stehen Dünen an. Über den Niederterrassen ist in der Regel großflächig bindiger Hochflutlehm verbreitet. Gewässernah liegen bindige holozäne Auenlehme mit wechselndem organischem Anteil vor.

Während somit im östlichen Bereich häufig bindige Deckschichten vorliegen, wird der Westen von sandiger Bedeckung dominiert. Dies ist wegen der damit nach Westen hin abnehmenden bzw. zum Teil nicht vorhandenen Pufferkapazitäten der Deckschichten von Bedeutung für die Schwermetallmobilisierung, insbesondere im TEZG MSN (CREMER 2002). Die Bewertung der Schutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Schichten nach IS HK 100 ergab in den TEZG Niers, Schwalm und MSN überwiegend ungünstige und untergeordnet mittlere Schutzfunktionen. Bereiche mit günstiger Schutzfunktion der Deckschichten wurden hier nicht ausgewiesen.

Die tertiärzeitlichen Sedimente im Untersuchungsraum bestehen meist aus Schluffen und Feinsanden, in die auch Tonhorizonte und Braunkohleflöze eingeschaltet sein können. Die Lockergesteine des Tertiärs sind meist mäßig bis gering durchlässig; häufig bilden sie mit dem quartären Grundwasserleiter ein gemeinsames Grundwasserstockwerk aus. Die Tonhorizonte und Flöze stellen stockwerkstrennende Grundwasserstauer dar. Zum Teil stehen die tertiären Einheiten direkt an der Oberfläche an, wie z. B. in der Hochscholle östlich des Viersener Sprungs. Sie bilden innerhalb des TEZG Schwalm und des TEZG MSN in größeren Bereichen den obersten Grundwasserleiter aus, da dort die überlagernden Hauptterrassensedimente grundwasserfrei sind.

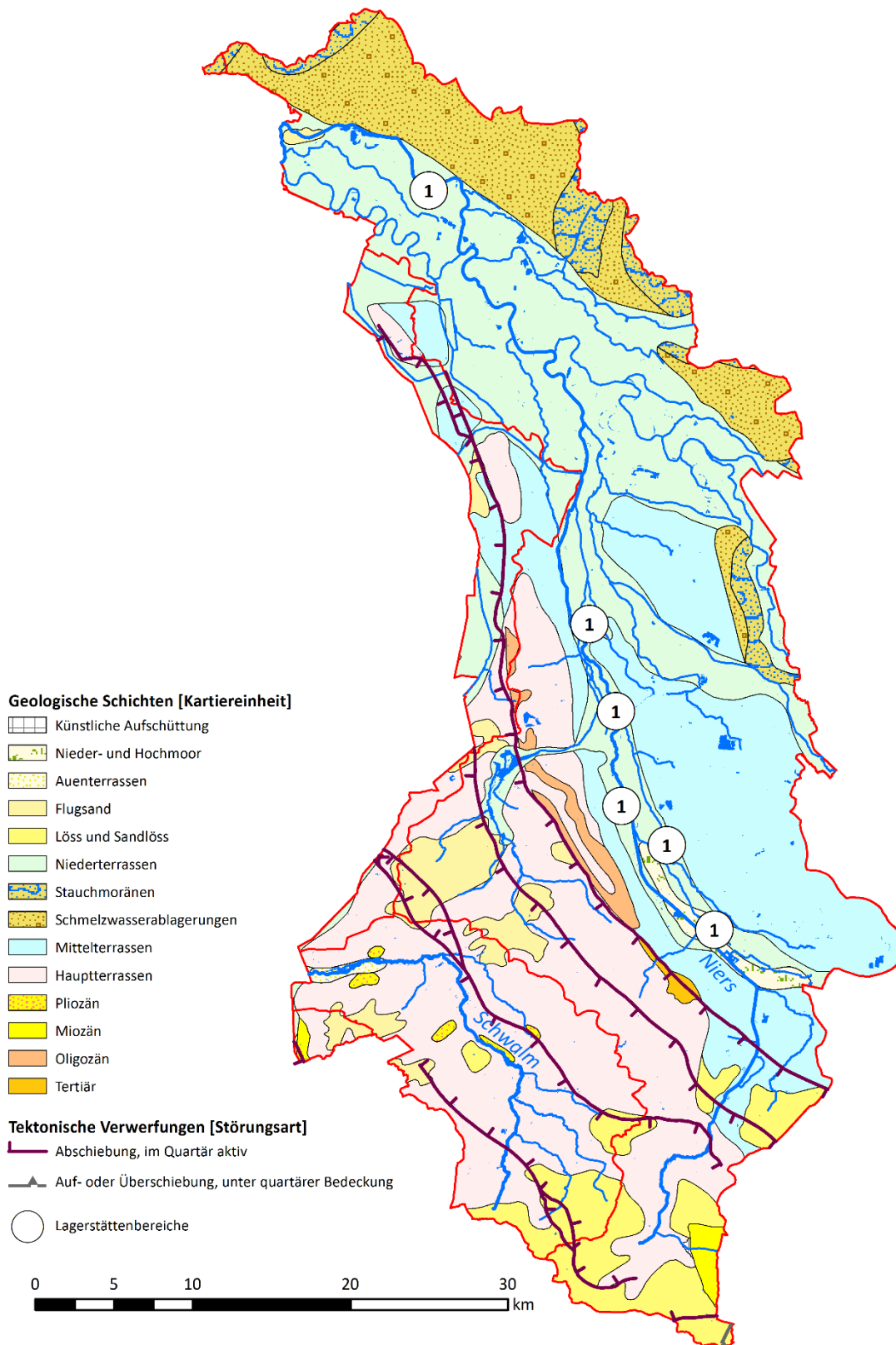


Abb. 17-2: Geologie und Lagerstätten in den TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszufüsse, Nord

Aufgrund ihrer Vorflutfunktion werden die meisten Gewässer überwiegend aus Grundwasser gespeist. Vielfach liegen aufsteigende Gradienten in den tertiären Grundwasserleitern vor, die zu einem erheblichen Grundwasserzstrom aus dem Tertiär in die Oberflächengewässer führen. Dies macht sich vor allem in den Unterläufen von Niers und Schwalm bemerkbar sowie im TEZG MSN dort, wo sich das Grundwassergefälle im Bereich der Terrassenkante zur Maas hin versteilt. Somit prägen nicht nur die Lockergesteine des Quartärs, sondern auch die tertiärzeitlichen Gesteine die natürliche Gewässerchemie.

Innerhalb des Untersuchungsraumes nehmen Niederungsbereiche mit Auen große Flächen ein, darüber hinaus sind Anmoore und ausgedehnte Niedermoore verbreitet (z. B. an der Schwalm, der Nette und am Oberlauf der Niers). Das dort gewässernah vorliegende besondere hydrochemische Milieu (pH-Wert, Redoxverhältnisse) nimmt Einfluss auf die Mobilität von Schwermetallen.

Die beschriebenen Unterschiede in den Stoffgehalten der Gesteine spiegeln sich auch in den jeweiligen Bodenbildungen wider (LABO 2003; FELDWISCH & LENDVACZKY 2015).

Lagerstätten und Mineralisation

CREMER (2002) stellte anhand zweier im TEZG Niers liegender Untersuchungsgebiete fest, dass hier die Pyrit-Schwefelgehalte (und Gesamt-Schwefelgehalte) einzelner sandiger tertiärer Horizonte deutlich die im Süden der Venloer Scholle ermittelten Werte überschreiten. Neben Eisen liegen in den vorhandenen sulfidischen (Pyrit-)Erzkörnchen weitere Schwermetalle akzessorisch vor. Darüber hinaus gibt es auch karbonatisch und hydroxidisch gebundene Metalle in den Sedimenten des Tertiärs. JANSEN & RÜDE (2006) beschreiben insbesondere flachmarine und deltalische tertiärzeitliche Sedimente innerhalb der Niederrheinischen Bucht, wie die hier anstehenden oligozänen Sande, als besonders anfällig für erhöhte Arsengehalte (und andere Metalle).

Flächenmäßig größere, wirtschaftlich abbauwürdige Erzlagerstätten sind in den TEZG Niers, Schwalm und MSN nicht bekannt. Jedoch können in den Grundwasserleitergesteinen lokal vergleichsweise hohe geogene Schwermetallgehalte vorliegen. In den weitverbreiteten bindigen Deckschichten sind ebenfalls hohe Stoffkonzentrationen zu erwarten (HORNBURG 2003) bzw. aus den Böden bekannt. Dies gilt insbesondere für die ausgedehnten Auenbereiche sowie die anmoorigen und moorigen Standorte.

Organisch geprägte feuchte Niederungsbereiche und Moorstandorte können aufgrund der dort vorliegenden besonderen hydrochemischen Randbedingungen sowohl als Schwermetallsenken wie auch als Schwermetallquellen fungieren (WIRSING 2005). In dem hier beschriebenen Untersuchungsraum kam es in der Vergangenheit an solchen Standorten zu relevanten Erzanreicherungen. So gibt es für das TEZG MSN und das TEZG Niers zahlreiche Nachweise von **Raseneisenerzen** (Abb. 17-2: Verbreitung beispielhaft im Bereich der Markierung 1) im IS Erz des GD NRW. Diese liegen z. B. im Wembscher Bruch bei Weeze, in der Niersniederung bei Goch und im gesamten Niersbruch zwischen Neersen und nördlich von Wankum. Es kann davon ausgegangen werden, dass neben den genannten Standorten weitere, hier nicht bekannte existieren.

Bei den Raseneisenerzen handelt es sich im Wesentlichen um hydroxidische Eisenvererzungen, welche zum Teil auch relevante Gehalte an Nickel, Arsen, Uran oder Mangan aufweisen können (BANNING 2008; KACZOREK et al. 2004). Die Raseneisenerzvorkommen (auch als Sumpferze bezeichnet) erreichen durchaus größere Ausdehnung. Einige der Vorkommen im Niederrheingebiet waren seit der Eisenzeit bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts lokal von so großer Bedeutung, dass dort Eisenschmelzbetriebe und Eisenhütten entstanden (GLA 1988). Darüber hinaus sind Paläo-Raseneisenerze auch innerhalb der tertiärzeitlichen Feinsande bekannt (BANNING 2008; BANNING & RÜDE 2010).

17.2 Bewertungseinheiten

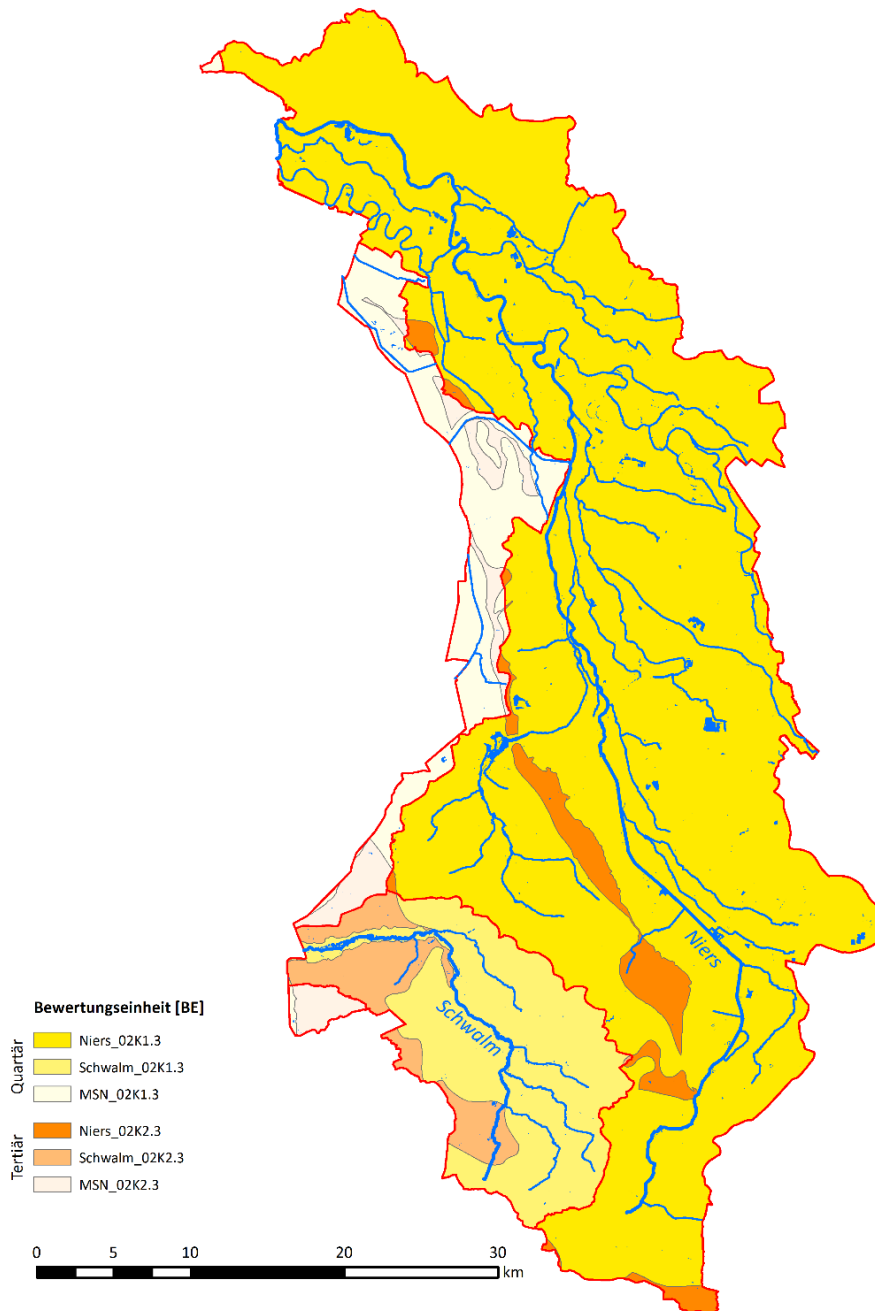


Abb. 17-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

In Abbildung 17-3 und Tabelle 17-1 wird ein Überblick über die in den TEZG Niers, Schwalm und MSN abgegrenzten BE gegeben.

Tab. 17-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten in den TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

Niers_		Fläche [km²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	1285,2
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	54,8
Schwalm_		
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	191,9
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	56,4
MSN_		
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	110,2
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	41,5

Es wurden fallweise Datensätze der TEZG aggregiert, um eine statistische Auswertung der jeweiligen Parameter zu ermöglichen. Dies betrifft wegen der dort geringen Anzahl an Daten vor allem die BE 02K1.3 und 02K2.3 im TEZG MSN und die Datensätze aus BE 02K2.3 des TEZG Schwalm, die nach Bedarf mit den Datensätzen des TEZG Niers aggregiert wurden.

17.3 Ergebnisse

In Tabelle 17-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 17-4 bis 17-8 in Karten dargestellt.

In den TEZG Niers, Schwalm und MSN sind im Vergleich mit den Beurteilungswerten hauptsächlich die ermittelten HGW für die Parameter Barium, Cadmium, Kobalt, Kupfer, Eisen, Mangan, Nickel, Uran und Zink auffällig.

Der Barium-HGW in der tertiären BE 02K2.3 wurde erwartungsgemäß mit bis zu 79 µg/l als relativ hoch ermittelt. Die marinen tertiären Sedimente, insbesondere die Tone (Barium-Adsorption), weisen per se hohe Bariumgehalte auf (WEDEPOHL 1960; FISCHER & PUCHELT 1974; HORNBERG 2003). In den sandigen Einheiten des Tertiärs wird der Bariumgehalt im Wesentlichen durch die Anteile an Glimmer und an Kalifeldspäten im Gestein gesteuert (FISCHER & PUCHELT 1974), da in diesen zum Teil Kalium durch Barium ersetzt ist.

Der höchste Barium-HGW wurde mit 98,3 µg/l in der BE 02K1.3 im TEZG Niers ermittelt. Unter Berücksichtigung der Präselektionskriterien (Kap. 8.2.6 Bergbaueinfluss bei Barium) sowie z. B. Einträgen von Kläranlagen oder sonstigen anthropogenen Belastungen (z. B. Verfüllungen) wurde der Eingangsdatensatz um rund die Hälfte reduziert. Dabei verblieben die höchsten gemessenen Konzentrationen in Moorgebieten und an Standorten mit hohem organischem Anteil, wie z. B. am Unterlauf der Niers. Das Verhalten von Barium in der Wasserphase ist eng mit dem Schwefelkreislauf verknüpft, da die Löslichkeit von Barium durch Bariumsulfat (Baryt) kontrolliert wird (MERKEL & SPERLING 1998). Bei reduzierendem

Milieu und dem Vorhandensein von organischer Substanz bleibt das Barium nicht mehr im Sediment fixiert und kann in die Porenwässer übertreten (PUCHELT 1967). Der Prozess wird durch bakterielle Reduktion katalysiert. Hohe Bariumgehalte in Sickerwässern und im Grundwasser in Moor- und Anmoorbereichen lassen sich damit erklären. Auch der ermittelte Barium-HGW spiegelt dies wider.

Der Barium-HGW im Grundwasser wurde im Quartär mit 167 µg/l ermittelt, in vergleichbaren tertiären Sedimenten liegt er bei 336 µg/l (HGW Gw 2012); vor dem Hintergrund können die hier ermittelten HGW für Oberflächengewässer als plausibel angesehen werden.

Das Phänomen der anthropogen induzierten Mobilisierung von geogen im Untergrund vorhandenen Schwermetallen wie z. B. Nickel wurde, wie bereits erwähnt, von OBERMANN et al. (2001) und von CREMER (2002) intensiv untersucht. Als Folge der Überdüngung werden im ehemals anoxischen Milieu des Grundwasserleiters sulfidische Erzkörnchen, im Wesentlichen Pyrit, durch Nitrat oxidiert, das Nitrat wird dabei reduziert. Da im Pyrit neben Eisen unter anderem auch Nickel, Kobalt und Arsen vorhanden sind, können auch diese in Lösung gehen. Damit einhergehend stellt sich eine Versauerung (Freisetzung von Protonen) des Grundwassers ein. Neben den sulfidischen Erzen als Träger von Schwermetallen existieren auch karbonatische Bindungsformen von Schwermetallen, deren zusätzliches Mobilisationspotenzial durch die Karbonatpufferung der Protonen aktiviert wird.

Diese Erkenntnisse wurden bei der Auswertung berücksichtigt und der vorliegende Gesamtdatensatz entsprechend bereinigt und reduziert (z. B. Nickel ursprünglich mit einem Maximum von 110 µg/l). Es wurden unter anderem Datensätze aus, nach DPSIR-Einstufung, potenziell landwirtschaftlich beeinflussten Bereichen eliminiert, ebenso wurden Datensätze mit erhöhten Nitrat- und/oder Chloridgehalten entfernt. Nach beschriebener Selektion der Eingangswerte konnten aus den verbliebenen Populationen im Wahrscheinlichkeitsnetz die HGW abgeleitet werden.

Die in der BE 02K1.3 ermittelten HGW für die Parameter Nickel und Kobalt heben sich im Vergleich zu den jeweiligen Beurteilungswerten hervor (Kobalt-HGW 1,2 bis 1,8 µg/l und Nickel-HGW 7,4 bis 9,4 µg/l). Unter Berücksichtigung der in den Erzen vorliegenden Nickel-/Kobalt-Relation korrelieren die ermittelten HGW für Kobalt und Nickel gut.

Hohe Nickelkonzentrationen in der quartären BE 02K1.3 in den TEZG Niers, Schwalm und MSN sind im Wesentlichen auf den Stoffbestand in den tertiären Sedimenten und auf tertiäre Grundwässer, die dem Quartär zutreten, zurückzuführen. Auch ohne landwirtschaftlichen Einfluss finden Oxidationsprozesse dort statt, wo die oligozänen Sande des Tertiärs oberflächennah oder direkt an der Oberfläche anstehen. Versauerungsprozesse an den meist bewaldeten Standorten verstärken die Schwermetallmobilisierung zudem. Im TEZG der Schwalm ergab die Auswertung der tertiären BE 02K2.3 für Nickel einen ähnlich hohen HGW wie in der quartären BE 02K1.3 und stützt damit die Annahme des Einflusses tertiärer Grundwässer auf die quartären BE. Die hier ermittelten, vergleichsweise hohen HGW für Zink sind vermutlich ebenfalls darauf zurückzuführen. Beprobungen durch den GD NRW in tertiären Quellen im TEZG MSN, z. B. im Quellgebiet Paesmühle, weisen darauf hin.

Tab. 17-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Niers		Schwalm		MSN	
		02K1.3	02K2.3	02K1.3	02K2.3	02K1.3	02K2.3
Ag	n > BG						
	50. P.						
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.						
As	n > BG	43		23	7	43	
	50. P.	0,7		0,6	0,5	0,7	
	90. P.	1,0	n.a.	1,0	0,9	1,0	n.a.
	Max. N.	1,2		1,2	1,0	1,2	
B	n > BG	64	8	7		50	8
	50. P.	44,0	25,3	30,1		44,0	25,3
	90. P.	71,5	78,9	46,6	n.a.	65,8	78,9
	Max. N.	85,0	87,0	57,0		85,0	87,0
Ba	n > BG	51	8	23	8	12	8
	50. P.	60,0	34,8	44,9	40,3	49,8	34,8
	90. P.	98,3	79,0	59,9	72,6	71,4	79,0
	Max. N.	120,0	79,0	64,0	87,0	70,0	79,0
Be	n > BG	25		9		25	
	50. P.	0,04		0,01		0,04	
	90. P.	0,09	n.a.	0,04	n.a.	0,09	n.a.
	Max. N.	0,13		0,08		0,13	
Cd	n > BG	64		22	7	15	
	50. P.	0,05		0,06	0,04	0,23	
	90. P.	0,12	n.a.	0,19	0,13	0,98	n.a.
	Max. N.	0,19		0,25	0,15	1,10	
Co	n > BG	38	9	18	9	51	
	50. P.	0,6	0,3	0,7	0,3	0,7	
	90. P.	1,2	0,7	1,2	0,7	1,8	n.a.
	Max. N.	1,6	1,1	1,4	1,1	3,3	
Cr	n > BG	14					
	50. P.	0,3					
	90. P.	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,8					
Cu	n > BG	171	11	28	11	26	
	50. P.	1,9	1,3	1,7	1,3	2,0	
	90. P.	3,3	1,9	2,9	1,9	4,3	n.a.
	Max. N.	5,0	2,0	4,0	2,0	5,0	
Fe	n > BG	180		53	8	121	
	50. P.	0,4		0,3	0,3	0,6	
	90. P.	1,6	n.a.	1,0	0,6	2,1	n.a.
	Max. N.	4,3		1,6	0,6	4,7	
Hg	n > BG						
	50. P.						
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.						

Fortsetzung von Tabelle 17-2

Parameter	Kennwert	Niers		Schwalm		MSN	
		02K1.3	02K2.3	02K1.3	02K2.3	02K1.3	02K2.3
Mn	n > BG	106	9	31	9	8	19
	50. P.	112,7	52,4	68,6	52,4	161,4	161,8
	90. P.	801,2	109,8	178,7	109,8	475,5	678,7
	Max. N.	770,0	130,0	330,0	130,0	506,0	1100,0
Mo	n > BG	48		12			
	50. P.	0,3		0,2			
	90. P.	1,4	n.a.	0,4	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,8		0,4			
Ni	n > BG	59		15	7	59	
	50. P.	3,4		5,4	2,7	3,4	
	90. P.	7,4	n.a.	9,5	9,4	7,4	n.a.
	Max. N.	9,9		9,0	9,8	9,9	
Pb	n > BG	45		24	9	45	
	50. P.	0,9		0,8	0,5	0,9	
	90. P.	2,1	n.a.	1,6	1,4	2,1	n.a.
	Max. N.	3,6		2,5	1,3	3,6	
Se	n > BG	10				10	
	50. P.	0,6				0,6	
	90. P.	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	0,9	n.a.
	Max. N.	1,0				1,0	
SO ₄	n > BG	47		25	10	13	
	50. P.	62,7		62,3	62,7	87,4	
	90. P.	87,1	n.a.	80,1	85,2	119,4	n.a.
	Max. N.	82,0		86,0	84,0	120,0	
Ti	n > BG						
	50. P.						
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.						
Tl	n > BG	21		11	5	21	
	50. P.	0,02		0,01	0,01	0,02	
	90. P.	0,03	n.a.	0,02	0,03	0,03	n.a.
	Max. N.	0,04		0,02	0,05	0,04	
U	n > BG	59		21	12	11	
	50. P.	0,45		0,05	0,06	0,28	
	90. P.	1,43	n.a.	0,08	0,16	0,58	n.a.
	Max. N.	2,30		0,10	0,30	0,70	
V	n > BG	34		13		8	
	50. P.	1,0		0,6		1,8	
	90. P.	1,9	n.a.	1,6	n.a.	3,1	n.a.
	Max. N.	2,2		2,7		3,2	
Zn	n > BG	90	9	49	9	29	9
	50. P.	13,0	2,2	16,8	2,2	32,6	41,5
	90. P.	22,5	20,7	43,0	20,7	68,9	81,6
	Max. N.	29,0	42,0	90,0	42,0	90,0	100,0

In der BE 02K1.3 des TEZG MSN wurde für Kupfer ein HGW von 4,3 µg/l ermittelt. Aufgrund seiner Affinität zu Tonmineralen und zu organischem Kohlenstoff kann Kupfer verstärkt in Tonen und organikreichen Sedimenten vorliegen, daneben kann es auch an Eisen- und Manganoxide gebunden werden (MERKEL & SPERLING 1998; ALLOWAY 1999). Bei wechselnden hydrochemischen Verhältnissen kann es mobilisiert werden. Daher sind erhöhte Kupferkonzentrationen in tertiären Einheiten und in moorigen und anmoorigen Niederungsbereichen grundsätzlich nicht ungewöhnlich.

Die Eisen- und Mangan-HGW stechen vor allem in den quartären BE (02K1.3) der Niers und MSN sowie im Tertiär der MSN (02K2.3) hervor (Tab. 17-2). Wie in Kapitel 17.1 erläutert, zeichnen sich die ausgedehnten, feuchten Auenbereiche durch Moorbildungen und damit einhergehende Erzanreicherungen (Raseneisenerze) aus, die den Untersuchungsraum und damit die natürliche Beschaffenheit des Grundwassers und der Oberflächengewässer wesentlich prägen. So wurde in der BE 02K1.3 der Niers NRW-weit der höchste Mangan-HGW bestimmt. Auch im Grundwasser des quartärzeitlichen Grundwasserleiters liegen relativ hohe HGW für Mangan und Eisen vor (HGW Gw 2012), die dazu führen, dass nahezu jede Trinkwassergewinnung aus dem Quartär in diesem Raum eine Entmanganung und Enteisung betreiben muss.

Der Vanadium-HGW zeigt sich in der quartären BE 02K1.3 der MSN auffällig. Wie auch bei Mangan ist dies vermutlich auf die Niedermoorbereiche sowie stark organische Böden innerhalb der BE zurückzuführen (IS BK 50), die einen Stoffeintrag in die Oberflächengewässer begünstigen.

Im Bereich der quartärzeitlichen Sedimente der Niers (BE 02K1.3) liegt der Uran-HGW mit 1,43 µg/l deutlich über dem aktuellen Beurteilungswert. Die höheren Urankonzentrationen (Maximum der Normalpopulation = 2,3 µg/l; Tab. 17-2) clustern in Moorbereichen. Dort kann durch Bodendegradierung und veränderte Milieubedingungen, insbesondere veränderte Redoxverhältnisse, Uran (und andere Schwermetalle) freigesetzt werden. So zeigten z. B. Untersuchungen in Bayern im Abstrom von Niedermoor- und Anmoorgleygebieten Fahnen deutlich erhöhter Urankonzentrationen im Grundwasser (RÜDE & SPÖRLEIN 2014), welche auf die zuvor genannten Prozesse zurückzuführen waren. Eine Korrelation der Urankonzentrationen mit der Aufbringung von Phosphatdünger wurde dort nicht gesehen.

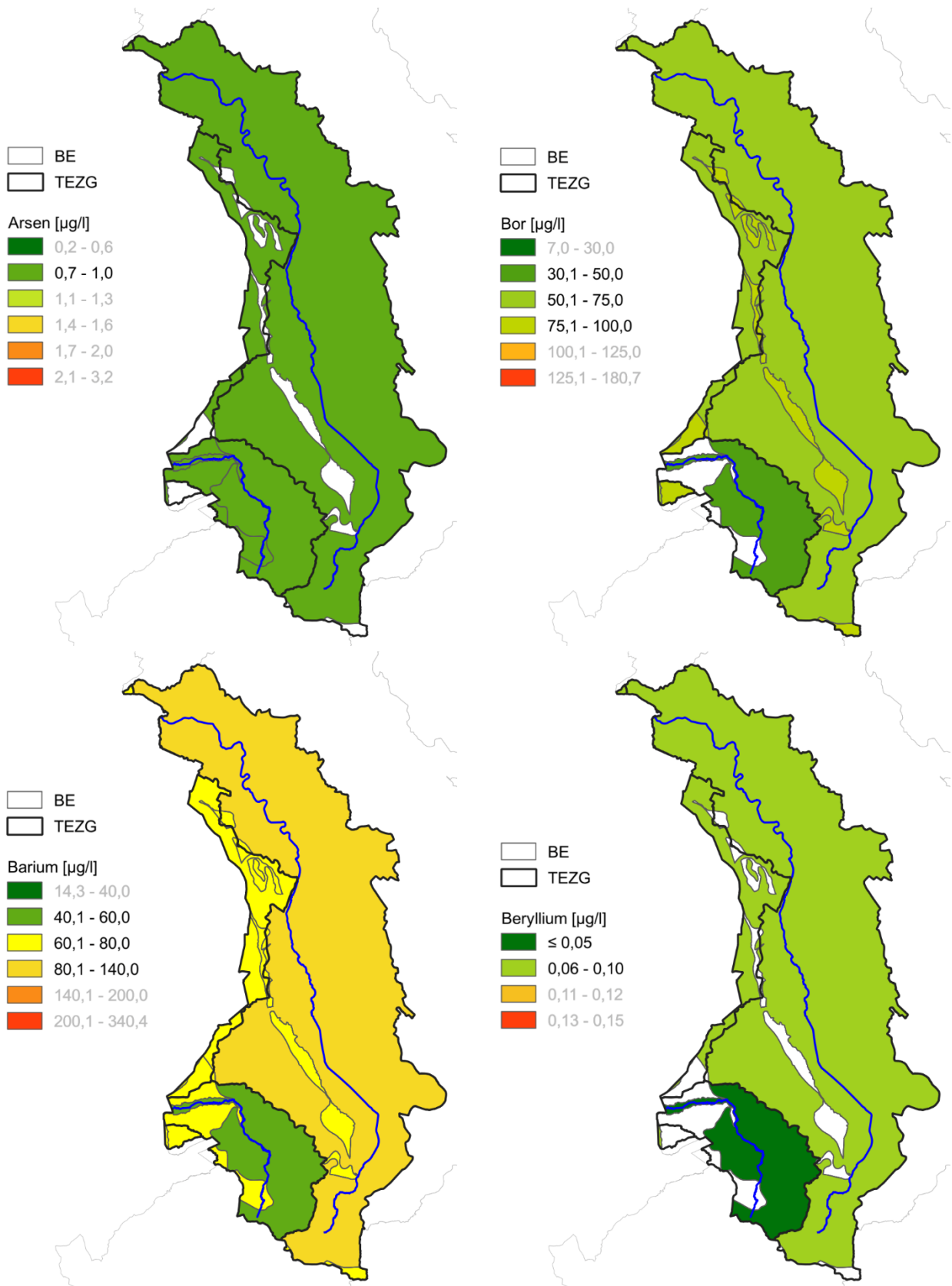


Abb. 17-4: HGW_{ges} für Arsen, Bor, Barium und Beryllium in den BE der TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

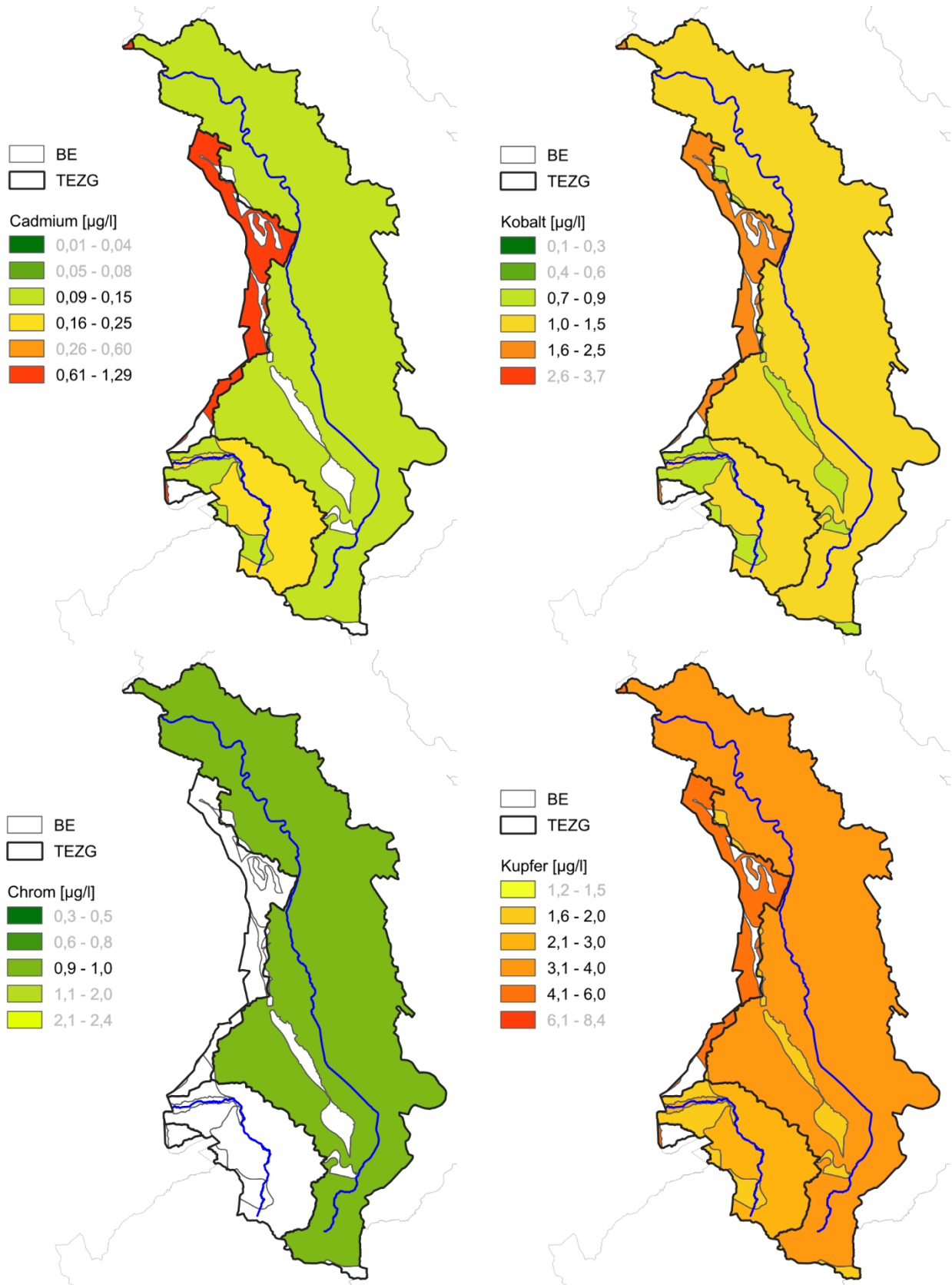


Abb. 17-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE der TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

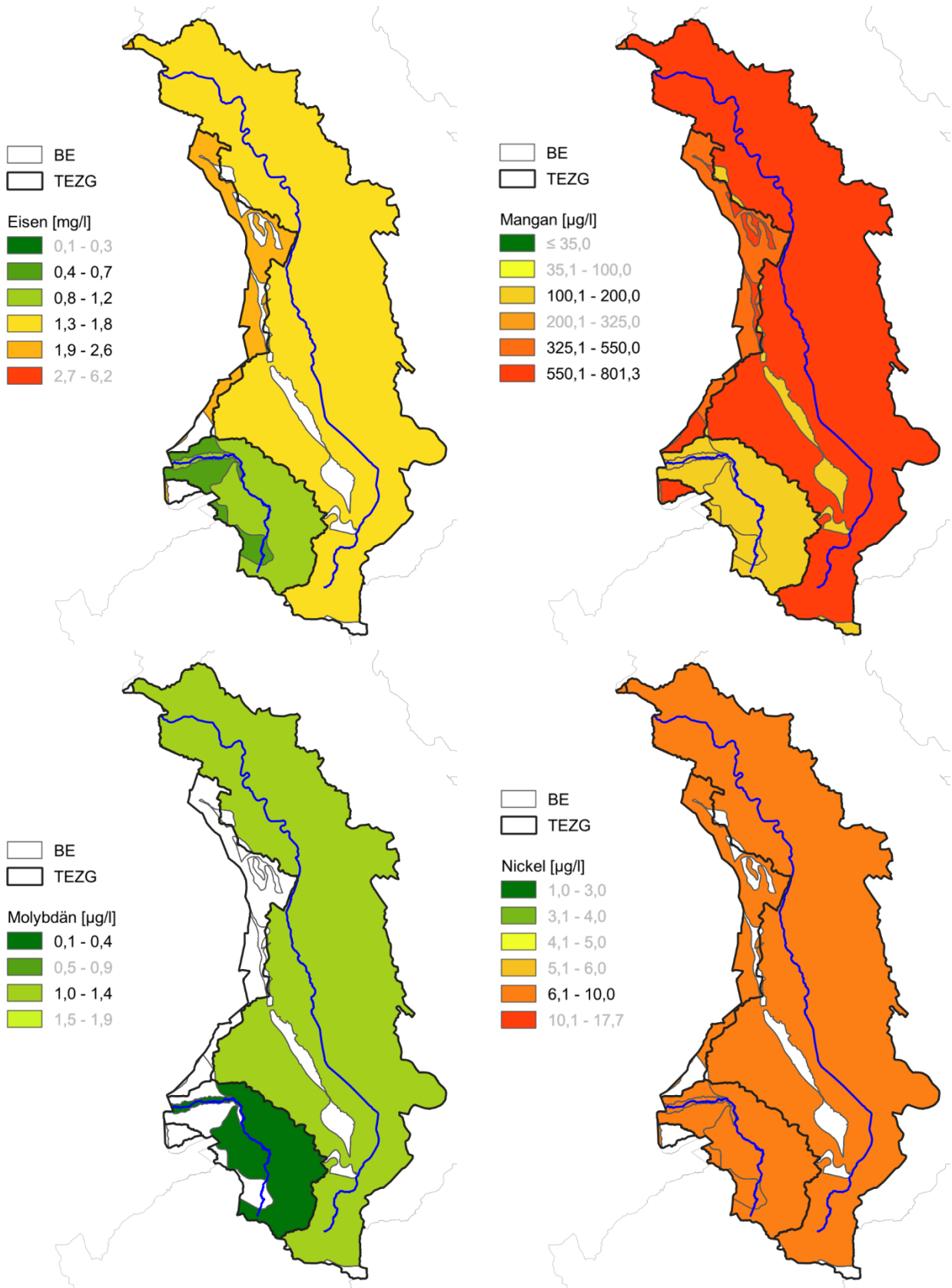


Abb. 17-6: HGW_{ges} für Eisen, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE der TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

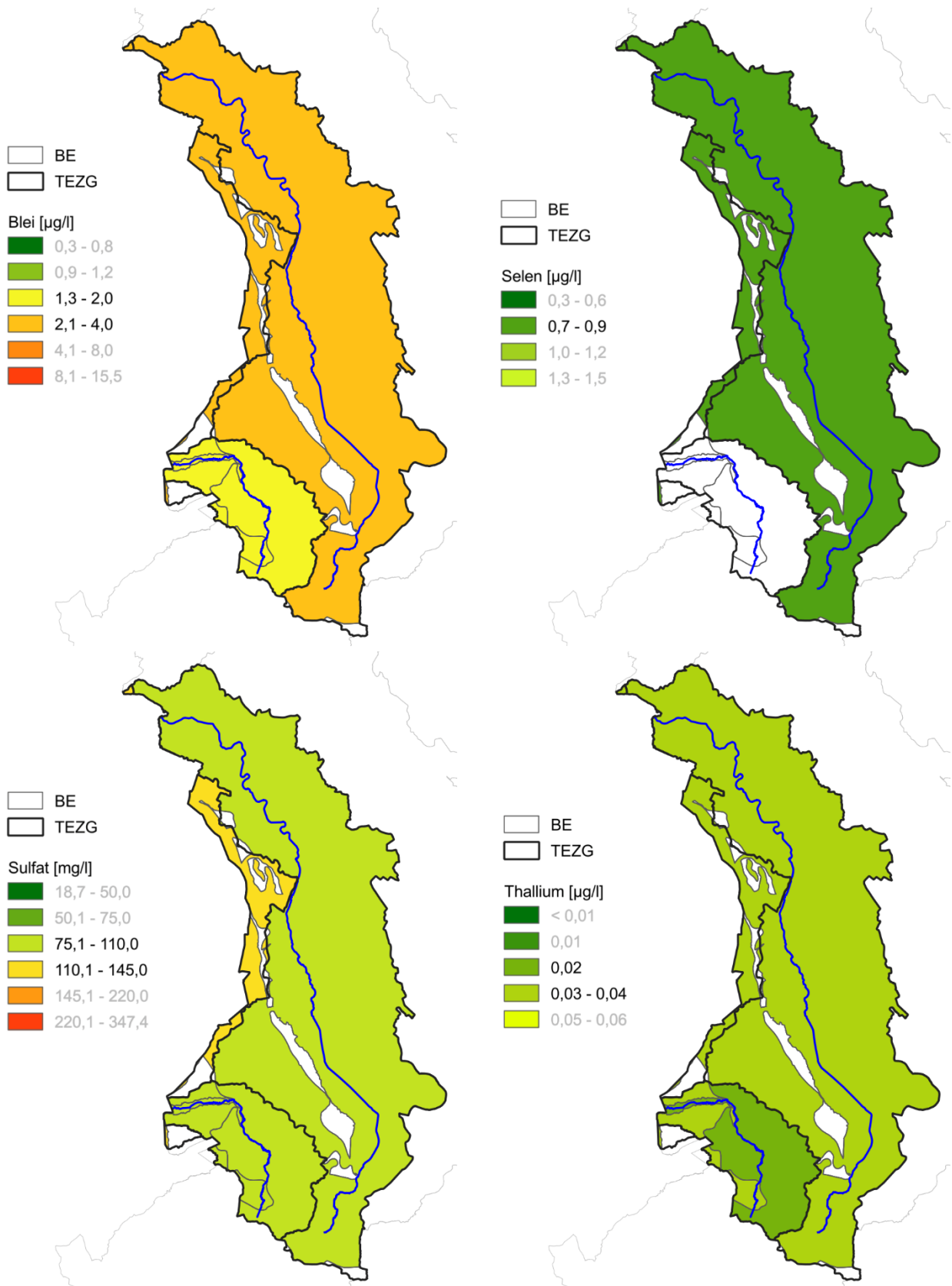


Abb. 17-7: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE der TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

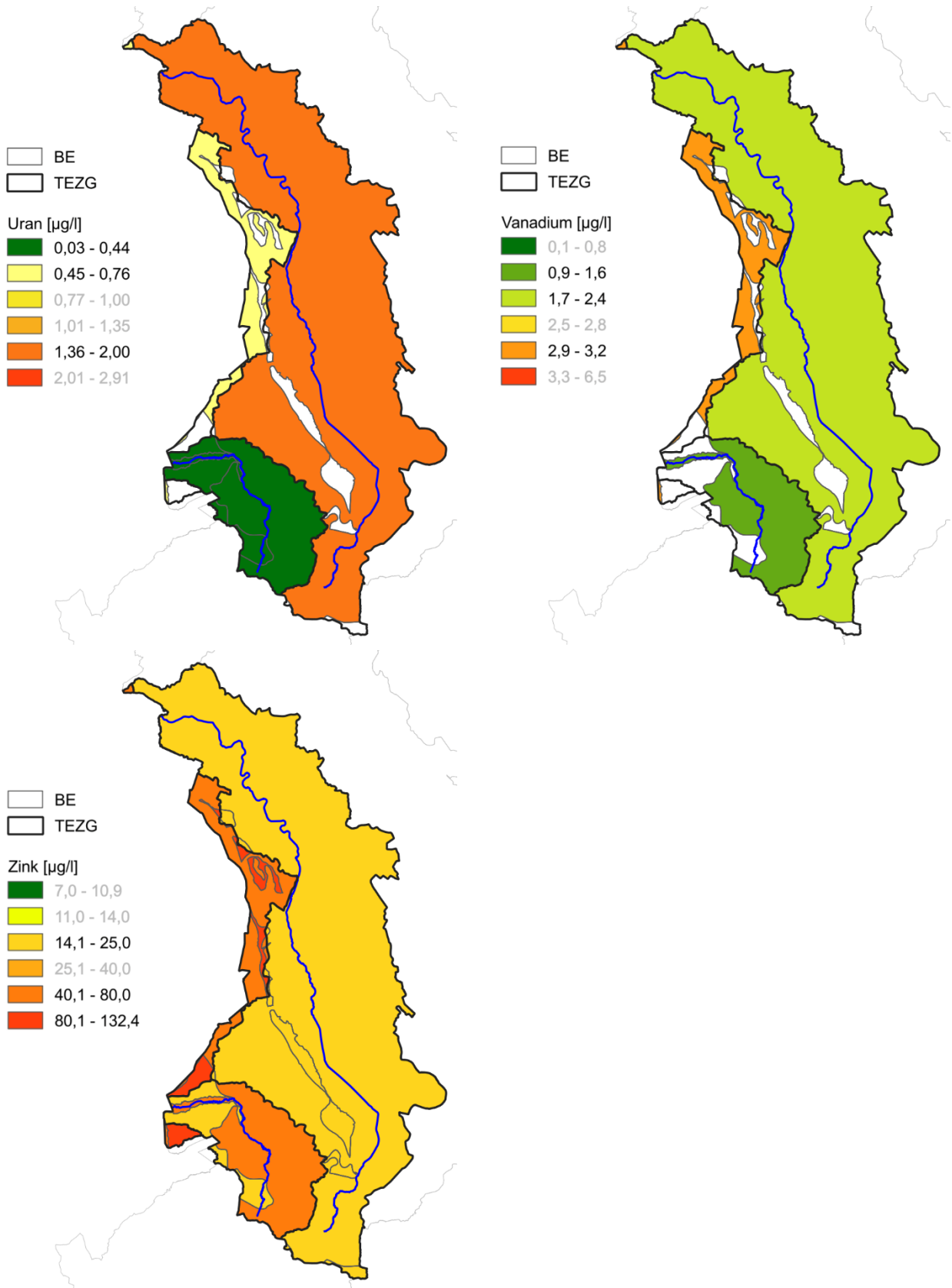


Abb. 17-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE der TEZG Niers, Schwalm und Sonstige Maaszuflüsse, Nord

18 Rheingraben-Nord

18.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG Rheingraben-Nord (RGN) erstreckt sich von Bad Honnef an der Landesgrenze im Süden bis zur Staatsgrenze bei Bimmen im Norden und hat eine Fläche von ca. 3 179 km². Es ist durch die in Teilbereichen sehr unterschiedlichen naturräumlichen und geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse gekennzeichnet. Die in Abbildung 18-1 wiedergegebene physische Karte und die Darstellung der Geologie in Abbildung 18-2 verdeutlichen dies.

Der überwiegende Flächenanteil des TEZG RGN gehört zur Niederrheinischen Tieflandbucht (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016) und wird von den Terrassenebenen des Rheins und seiner Nebenflüsse eingenommen. Der Tieflandbereich unterliegt intensiven, zum Teil konkurrierenden Nutzungsinteressen: Er ist zum einen durch intensive landwirtschaftliche Flächennutzung geprägt, daneben liegen hier auch die Besiedlungsschwerpunkte mit den größten Städten sowie die Hauptverkehrswege. Viele industrielle Zentren (Chemie-, Stahl-, Nahrungsmittelbranche) befinden sich wegen ihres hohen Wasserbedarfs ebenfalls im Tiefland in Rheinnähe. Beeinflussungen der Gewässerbeschaffenheit erfolgen sowohl aus der Landwirtschaft (diffus und punktuell) als auch über Regenwassereinleitungen aus den Verkehrsflächen und den Siedlungs- und Industriegebieten.

Im nördlichsten Teil der Tieflandbucht überwiegt die landwirtschaftliche Nutzung (zu ca. 70 %). Um die landwirtschaftlich nutzbare Fläche zu vergrößern, sind in der Vergangenheit viele Gewässer zum Zweck der Flächendrainage eingetieft und begradigt worden oder es wurden künstliche Entwässerungsgräben geschaffen. Daneben existiert in diesem Raum eine Vielzahl von Baggerseen, die durch die Nassgewinnung von Kies und Sand entstanden sind.

Das Gebiet der linksrheinischen und rechtsrheinischen Rheinzuflüsse ist im Raum Krefeld – Duisburg – Wesel indirekt durch den Steinkohlebergbau geprägt. Die LINEG und der Lippeverband betreiben hier in den von Bergsenkungen betroffenen Gebieten (der Abbau der Steinkohle erfolgte in diesem Raum unter dem Rhein hindurch) Pumpsanlagen zur Flurabstands- und zur Vorflutregulierung. In die künstlichen Gewässer Fossa Eugeniana und Lohberger Entwässerungsgraben wurden Grubenwässer aus den Wasserhaltungsmaßnahmen für das Grubengebäude eingeleitet. In der Vergangenheit wurden die Vorlandauskiesungen am Rhein selber, aber auch rheinnahe Nassauskiesungen häufig mit Bergematerial aus dem Steinkohlebergbau verfüllt.

Im Nordosten grenzt das TEZG RGN an das Münsterländer Kreide-Becken. Seine östlichen Grenzgebiete steigen nach Süden zunehmend an, da die Randbereiche des Rheinischen Schiefergebirges hier direkt zum Rhein hin entwässern. Dabei handelt es sich zum einen um Flächen des westlichen Ruhrgebietes, welche relativ dicht besiedelt und durch Auswirkungen des Steinkohlebergbaus geprägt sind. Zum anderen ist dies das Bergische Land. Hier erreicht das TEZG die größten Höhen. In der Vergangenheit existierten in diesem Raum viele lokale Erzgewinnungen von wirtschaftlicher Bedeutung; Auswirkungen des Erzbergbaus auf die Gewässerbeschaffenheit sind heute noch erkennbar. Daneben wird dort derzeit intensive Kalksteingewinnung betrieben, zu deren Zweck Grundwasser abgesenkt werden muss.

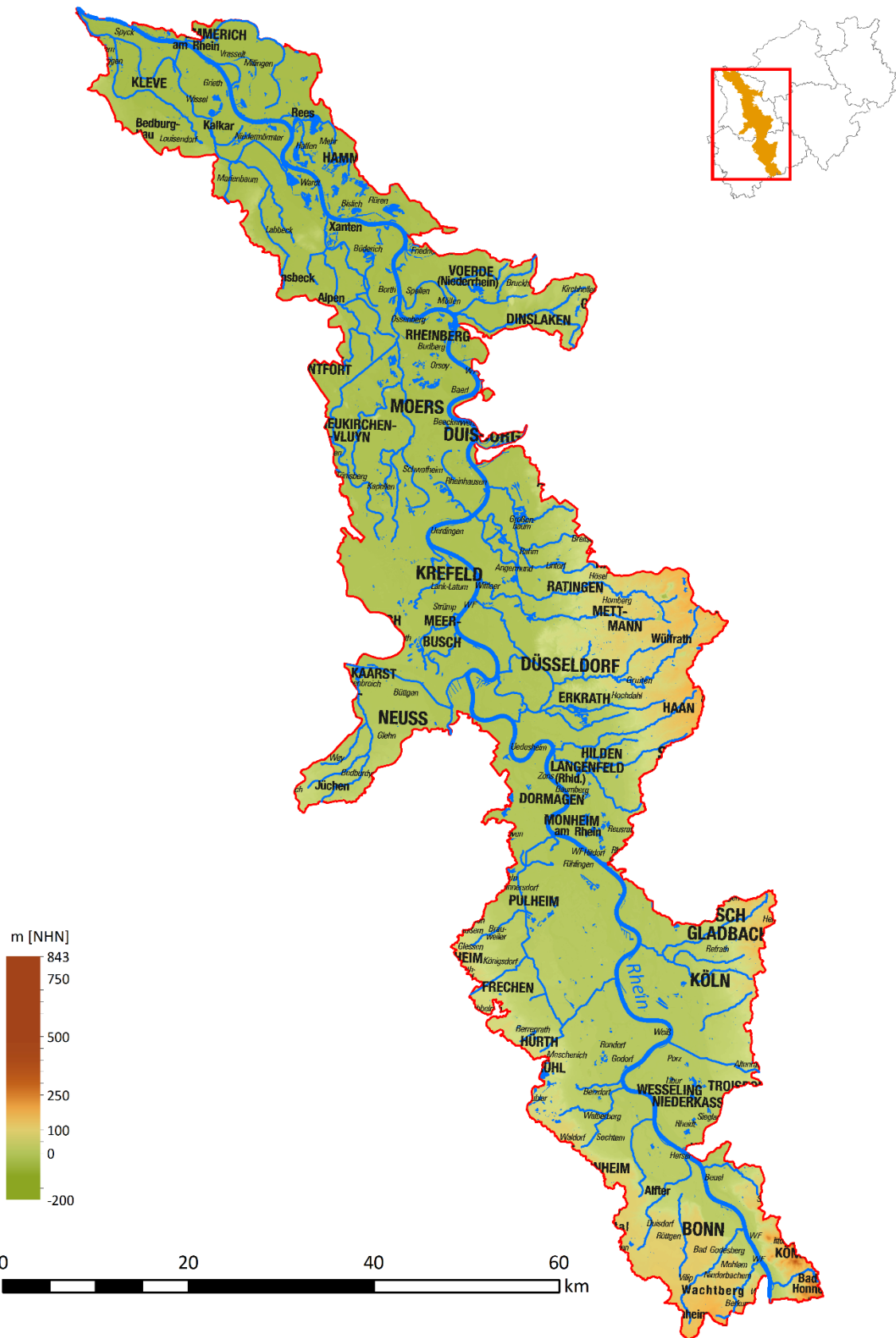


Abb. 18-1: TEZG Rheingraben-Nord

Im Süden kennzeichnen die Höhen des Siebengebirges und der Anstieg im Übergangsbereich zum Mittelrhein das TEZG RGN. Die Höhen sind überwiegend bewaldet. Auch hier gab es in der Vergangenheit lokalen Erzbergbau.

Im Südwesten entwässern die tektonisch bedingten Höhenzüge des Ville-Rückens in das TEZG RGN. In deren Verlängerung bis Bergheim prägen Flächen des ehemaligen Braunkohlebergbaus die Gegebenheiten.

Aufgrund der Größe des TEZG RGN gibt es insgesamt eine Vielzahl von Haupt- und Nebengewässern, wobei die Struktur der Gewässernetze zwischen Flachland und Bergland deutlich differiert. Als natürliche Gewässer im Flachland seien stellvertretend im nördlichen Teil der Grietherorter Altrhein und der Bienener Altrhein, die Bislicher Ley und Teile des Altrheins bei Xanten genannt. Dort ist die Rheinniederung im Vergleich zum Süden eher dünn besiedelt, sodass den genannten Gewässern der Raum zum Mäandrieren gelassen wurde. Teilbereiche stellen hier auch Retentionsräume im Fall von Rheinhochwässern dar.

Bei den meisten Gewässern im Flachland handelt es sich jedoch um erheblich veränderte Gewässer (HMWB), die dem Zweck der Landentwässerung dienten, zur Ableitung von Abwässern oder zur Einleitung von Grubenwässern aus dem Bergbau genutzt wurden. Daneben wurde für die genannten Zwecke auch eine ganze Reihe künstlicher Gewässer geschaffen, wie z. B. die Pistley, die Niedere Ley, der Lohberger Entwässerungsgraben und die Fossa Eugenia. Der künstlich geschaffene Spoykanal ist als Bundeswasserstraße ausgewiesen. Die weiter südlich gelegenen Gewässer Erftkanal, Obererft und Kölner Randkanal sind zum Teil im Zusammenhang mit dem Braunkohlebergbau geschaffen worden.

Die aus dem Rheinischen Schiefergebirge direkt zum Rhein hinfließenden Gewässer haben meist einen Ost – West gerichteten Verlauf. Diese Gewässer, wie z. B. die Anger, die Düssel, die Itter, der Schwarzbach oder die Strunde, kommen aus erzhöflichen Gebieten und bringen bei entsprechender Strömungsenergie im Oberlauf erhöhte Metallkonzentrationen mit sich. Bei dem Übertritt der Gewässer aus dem Mittelgebirge in das Flachland verlieren diese häufig streckenweise den Grundwasseranschluss, da im Bereich der topographisch höher gelegenen Terrassenniveaus und der Randstaffeln größere Grundwasserflurabstände vorliegen. Dadurch erfolgt dort zunächst kein grundwasserbürtiger Zustrom in die Gewässer. Die hydrochemischen Verhältnisse in den unterstromig im Flachland liegenden BE werden daher in erkennbarem Maße durch die oberstromigen BE überprägt.

Geologie/Hydrogeologie

Mehr als drei Viertel des TEZG RGN werden von quartärzeitlichen Sedimenten der verschiedenen glazialen bis postglazialen Terrassenniveaus bedeckt. Die Flächen der Niederterrassen und Auenterrassen nehmen hier bei Weitem den größten Raum ein; mit zunehmender Entfernung vom Rhein schließen sich im Westen und Osten die Sedimente der Mittelterrassen an. Auf den Randstaffeln zum Mittelgebirge im Osten sind noch Reste der topographisch höher gelegenen Hauptterrasse vorhanden.

Bei den Terrassensedimenten handelt es sich im Wesentlichen um Kiessande mit wechselndem Körnungsspektrum. An der Basis der Auen-, Nieder- und Mittelterrassen können Grobkiese und Steine oder sogar Blöcke auftreten. Die Terrassenkiessande bilden in der Regel hoch durchlässige und ergiebige Porengrundwasserleiter aus. Lokal sind sie durch Ton-, Schluff- oder Torfhorizonte (Interglazial-Ablagerungen) in Teilgrundwasserstockwerke untergliedert. Im nördlichen Teil der Terrassenebenen besitzen die Gewässer zumeist Vorflutfunktion, in der südlichen Hälfte ist dies vielfach nicht mehr der Fall. Unter den Terrassenablagerungen stehen tertiärzeitliche marine Feinsande, Schluffe oder Tone an. Wo das Top des Tertiärs sandig ausgebildet ist, sind Quartär und Tertiär hydraulisch gekoppelt.

Im Bereich der Hauptterrassenverbreitung herrschen große Flurabstände vor; zum Teil sind die Hauptterrassensedimente daher grundwasserfrei oder sie führen nur geringmächtiges Grundwasser.

Die Terrassenebenen im TEZG RGN sind überwiegend von bindigen Einheiten bedeckt (z. B. Lösslehm, Hochflutlehm oder Auenlehm). Vereinzelt treten auch sandige Deckschichten, wie Flugsand, auf. Die Auenlehme können bereichsweise hohe organische Anteile aufweisen. Hier liegen auch lokal Niedermoore und anmoorige Flächen.

Im Nordosten gehören noch Teile der niederrheinischen Stauchmoränen (z. B. Bönninghardt) zum TEZG RGN; sie bilden Erosionsinseln innerhalb der Terrassenkörper. Die Moränen sind inhomogen aufgebaut. Sie bestehen aus aufeinander geschobenen Stauchschruppen aus kiesigen Sanden der Terrassen, lokal auch aus Interglazial-Sedimenten und aus tertiärzeitlichem Material.

Sedimente des Tertiärs nehmen im TEZG RGN relevante Flächen ein. Dies sind im südwestlichen und im östlichen Bereich die Sande und Tone mit Braunkohleeinschaltungen des Oligozäns bis Miozäns. Linksrheinisch liegen rekultivierte Flächen des Braunkohlebergbaus, die zum Teil mit Abraum und auch mit Kraftwerksaschen verfüllt wurden, sowie Restseen vor. Die tertiärzeitlichen Sedimente sind gering bis mäßig durchlässig. Das Grundwasser hat hier meist Anschluss an die Vorflut. Die im Osten am Übergang zum Mittelgebirge anstehenden tertiären Einheiten werden nach Norden hin zunächst zunehmend sandiger (Grafenberg-Formation), bis ab Ratingen die ältesten, tondominierten Einheiten des hier anstehenden Tertiärs (Rupel-Formation) die Verhältnisse prägen.

Im Osten bildet das ansteigende Rheinische Schiefergebirge die größten Höhen im TEZG RGN aus. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um stark gefaltete Schiefer, Sandsteine und Quarzite des Devons. Diese sind nur sehr gering durchlässig und führen kaum Grundwasser. Innerhalb der genannten silikatischen Gesteine treten auch Karbonatgesteine auf – die Massenkalk in der Paffrather Mulde, im Velberter Sattel und der Wuppertaler Massenkalk. Sie stellen wichtige Grundwasserleiter dar, da sie verkarstet und hoch durchlässig sind. Die Massenkalk werden häufig durch stark schüttende Karstquellen entwässert (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Nördlich schließt sich das zum Rheinischen Schiefergebirge gehörende Ruhrkarbon an. Es besteht hier aus einer Wechselfolge von karbonischen Ton-, Schluff- und Sandsteinen; Steinkohleflöze stehen hier nicht an. Bituminöse Alaunschiefer und der verkarstete Kohlenkalk nehmen geringe Ausstrichbereiche ein.

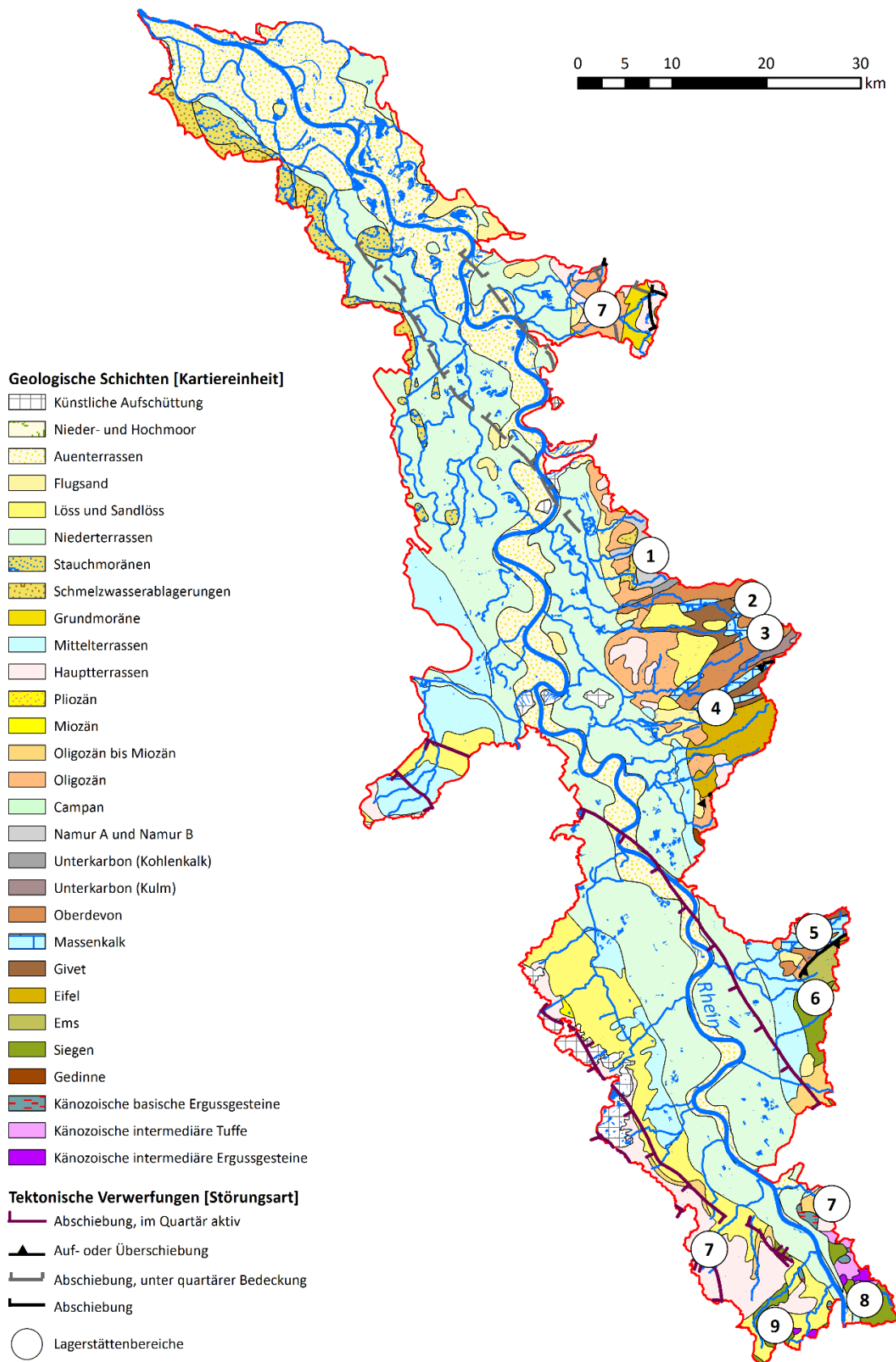


Abb. 18-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Rheingraben-Nord

Der Übergang des Rheinischen Schiefergebirges zur Niederrheinischen Tieflandbucht ist durch tiefreichende, Nordwest – Südost verlaufende Störungen vorgegeben. Sie sind Folge einer Dehnungstektonik und im Zusammenhang mit der Atlantiköffnung zu sehen (DROZDZEWSKI 2007). Die Störungen, in der Regel Abschiebungen, führen zu einem treppenartigen Absinken des Grundgebirges in Richtung West – Nordwest, wodurch die Randstaffeln entstehen.

Die grundwasserführenden verkarsteten Karbonatgesteine und auch die gut geklüfteten, bankigen Sandsteine im TEZG RGN entwässern, dem Gebirgsstreichen und der Topographie folgend, zur Niederrheinischen Bucht hin. Dabei können die im Projekt maßgebliche oberirdische und die unterirdische Wasserscheide durchaus differieren. Im Bereich der Randstörungen kann es durch die versatzbedingte Verengung des Strömungsquerschnittes zu hochgespannten und zu artesischen Verhältnissen kommen. Dadurch steigen ältere, höher mineralisierte Wässer auf und mischen sich bereichsweise dem Grundwasser jüngerer Einheiten zu.

Eine Besonderheit im TEZG RGN stellen die im Süden verbreiteten Vulkanite dar. Trachytkuppen und Basaltschlote bilden die Höhen des Siebengebirges, größere Verbreitung haben jedoch die teilweise verfestigten Tuffe. Sie bilden gemeinsam mit den Trachyten einen Kluft-/Porengrundwasserleiter, mit mäßigen bis hohen Durchlässigkeiten. Sie werden lokal wasserwirtschaftlich genutzt. Im Umfeld steigen beiderseits des Rheins hochmineralisierte Tiefenwässer und Kohlensäure auf.

Lagerstätten und Mineralisation

Im TEZG RGN sind diverse Erzlagerstätten bekannt, von denen manche bis in das vorherige Jahrhundert bergbaulich genutzt wurden. Aktueller Erzbergbau liegt derzeit nicht mehr vor. Die meisten Lagerstätten sind auf postvariszische Aufstiege hydrothormaler Lösungen zurückzuführen, daneben auch auf während der variszischen Gebirgsbildung stattfindende Mobilisierungsprozesse im Gestein. Neben Eisenerzen sind vor allem Buntmetallerze verbreitet. Bei den Buntmetallen handelt es sich vorwiegend um Bleiglanz, Zinkblende und Kupferkies.

Im Zusammenhang mit dem Steinkohlebergbau sind im Ruhrkarbon auch bauwürdige Erzgänge entdeckt worden (JUCH & PIEPER & STEHN 2007). Die Erzvorkommen treten in Dehnungsstörungen, d. h. in querschlägig zum Streichen des Ruhrkarbons verlaufenden Gangspalten, auf, welche durch den Aufstieg metallhaltiger hydrothormaler Lösungen entstanden sind. Häufig wird der Bleiglanz auch von Silber begleitet. Eine Lagerstätte dieses Typs stellt der **Blei-Zink-Erzbezirk von Lintorf – Selbeck – Ratingen** dar (Abb. 18-2: Markierung 1), dessen Gänge überwiegend im flözleeren Oberkarbon liegen. Im unteren Teil der Lagerstätte folgen pyritreiche Alaunschiefer. Bereichsweise sind auch die östlich anstehenden Kohlenkalke metasomatisch, d. h. durch Verdrängung, vererzt worden.

Die Blei-Zink-Vererzungen im **Velberter Erzbezirk** (Abb. 18-2: Markierungen 2 und 3) sind ebenfalls an Nordnordwest – Südsüdost verlaufende Gangzonen gebunden. Dabei handelt es sich zum einen um Scharungen von kleineren Einzelgängen in devonischen Schluff- und Tonsteinen bei Velbert; daneben

liegen die Erzvorkommen bei Wülfrath auch im devonischen Massenkalk vor. Der Bleiglanz tritt hier meist nesterförmig und in Verbindung mit Dolomitspat auf.

Die **Erzvorkommen südlich von Mettmann bis Haan** (Abb. 18-2: Markierung 4) sind ein Teil des Nordbergischen/Nordsauerländischen Blei-Zink-Erzbezirkes. Sie bilden eine im Massenkalk metasomatisch und in seinen tonigen Liegendschichten gangförmig auftretende Lagerstätte, ähnlich der Erzvorkommen im TEZG Wupper bei Wuppertal/Schwelm.

Weiter südlich im Bergischen Land liegt der **Eisenerzbezirk Paffrather Mulde** (Abb. 18-2: Markierung 5). Hier treten in Dolinen des Kalksteins angereichert knollenförmige Brauneisensteine vor. Dabei handelt es sich um tertiärzeitliche Verwitterungsbildungen, also genetisch um Rückstandserze (HAMMLER 1986). Deren Eisengehalt war nach Aufbereitung so hoch, dass diese Erze in der Vergangenheit die Grundlage für die lokale Eisenhüttenindustrie darstellten. Neben den Eisenerzen treten in der Paffrather Mulde auch untergeordnet hydrothermal-metasomatische Buntmetall-Lagerstätten auf, die an tektonische Zerrüttungszonen gebunden sind. Die Vorkommen bilden netzförmige Mineralisationen im Wesentlichen aus Bleiglanz.

Südlich der Paffrather Mulde schließt sich der **Bensberger Erzbezirk** an (Abb. 18-2: Markierung 6). Ein Teil dieser – in Bezug auf die vorhandenen Erzvorräte – sehr bedeutenden Lagerstätte liegt innerhalb des TEZG RGN und entwässert direkt zum Rhein. Typisch für die Lagerstätte sind querschlägig zum Gebirgsstreichen verlaufende Gangspalten von wenigen Dezimetern bis wenigen Metern Breite. Die Gänge sind gefüllt mit inhomogen zusammengesetzten Erztrümmern in Quarz und Kalzit. Als wesentliche, in der Vergangenheit bergbaulich gewonnene Erze sind Bleiglanz, Pyrit und Zinkblende zu nennen. Daneben waren auch die vorhandenen Kupferkiesvorkommen von Interesse. Bereichsweise liegen auch an tertiärzeitliche Störungen gebundene Nickelerze vor.

Auf den flächenhaft verebneten Bereichen des paläozoischen Grundgebirges treten **Erzvorkommen aus der Tertiär-Zeit** auf (Abb. 18-2: Markierung 7) (JUCH & PIEPER & STEHN 2007). Das sind vor allem derbe Brauneisensteine und Toneisensteine, die im feuchtwarmen tertiärzeitlichen Klima als Verwitterungsbildung aus dem älteren Gestein entstanden. Sie wurden vermutlich bereits in der Eisenzeit mit Holzkohle verhüttet und waren noch bis in das 19. Jahrhundert lokal von Bedeutung. Auch linksrheinisch im Bereich des Kottenforsts liegen solche Residualerze vor (RAUFF 1980).

Die Lagerstätte des **Siebengebirgs-Erzbezirks** (Abb. 18-2: Markierung 8) beruht auf Gangerzvorkommen in unterdevonischen Schichtfolgen. Die Gänge sind sowohl varizischen Ursprungs, also mit der Gebirgsbildung entstanden, als auch postvariszisch (HAMMLER 1987). Als typische Erze sind Bleiglanz und Zinkblende zu nennen; im südlichen Teil tritt mehrfach auch Kupferkies als Haupterz auf (WETTIG 1974).

Das **Erzvorkommen bei Wachtberg-Oberbachem** (Abb. 18-2: Markierung 9) wurde von manchen Autoren dem Osteifeler Blei-Zink-Erzbezirk zugeschlagen, nach jüngerer Literatur wird es jedoch mit dem Siebengebirgs-Erzbezirk in Verbindung gebracht (GD NRW 2010). Das Auftreten der Erze und die Erzmineralparagenese sind ähnlich.

Neben den beschriebenen Lagerstätten sind in den Nieder- und Auenterrassen des TEZG RGN **Raseneisensteinvorkommen** weit verbreitet (KLOSTERMANN 1992). Raseneisensteine sind knollig-schlackenartige oder als Mulm entwickelte Ausfällungen von Eisenhydroxiden, die auch als Sumpferz, Wiesenerz, Oer oder Ur bezeichnet werden. Ihre Entstehung wird durch das Vorhandensein von Humuskolloiden begünstigt, weswegen sie häufig auch in moorigen und anmoorigen Standorten auftreten. In den Niederungen des nördlichsten Niederrheins sind ausgedehnte Raseneisensteinvorkommen durch Meliorationsmaßnahmen und durch Torfgewinnung veränderten Redoxverhältnissen ausgesetzt. Bereichsweise weisen die Böden, dort wo Raseneisenerze in den landwirtschaftlich genutzten Oberboden eingearbeitet worden sind, eine rostrote Färbung auf.

18.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 18-3 und Tabelle 18-1 wird ein Überblick über die in dem TEZG RGN abgegrenzten BE gegeben.

Die Datensätze der tertiären BE 02K2.3 und die der deutlich kleinflächigeren BE 02K2.2 und 08K7.2 wurden aggregiert und gemeinsam ausgewertet, da die beiden letztgenannten BE alleine nicht über ausreichend Daten verfügten. Sofern entsprechende Datensätze vorlagen, wurde auch die BE 08K7.1 in die Auswertungen eingeschlossen. Mitunter wurden auch die Datensätze tertiärer Einheiten des benachbarten TEZG Sieg (02K2.2, 02K2.3, 08K7.2) in die Auswertungen integriert.

Wegen zu geringer Datendichte erfolgte meist auch eine Zusammenführung der Daten der karbonatisch geprägten BE 08P10 und 08P12 sowie teilweise 08P6.

Die kleinflächig auf den Einheiten verbreiteten, geringmächtigen quartärzeitlichen Lockergesteinsbedeckungen (BE 08K3.1) wurden der jeweiligen liegenden BE zugeordnet.

Die Datensätze aus den quartären Sanden und Kiesen (BE 02K1.3) wurden zur Auswertung in die vier Einheiten Nord, Ost, Süd und Zentrum disaggregiert. Dies erfolgte, da die vier Teilbereiche des Quartärs aus sehr unterschiedlichen oberstromigen Einheiten angeströmt werden und auch ansonsten unterschiedliche Randbedingungen aufweisen. Die BE Nord_02K1.3 deckt mehr oder weniger den gesamten Unterlauf des TEZG Rheingraben-Nord ab und beinhaltet Bereiche mit möglicher Beeinflussung aus dem Steinkohlebergbau. Die BE Ost_02K1.3 wird überwiegend aus dem Bergischen Land und den dort vorhandenen Erzbezirken angeströmt. Die BE Süd_02K1.3 ist durch Zutritte aus dem Tertiär und durch Bereiche der ehemaligen Braunkohlegewinnung beeinflusst. Die entlang des Rhein-Hauptstroms verlaufende BE Zentrum_02K1.3 ist im Wesentlichen durch die Auenbereiche und im Norden durch rheinnahe Verfüllungen in Vorlandauskiesungen geprägt.

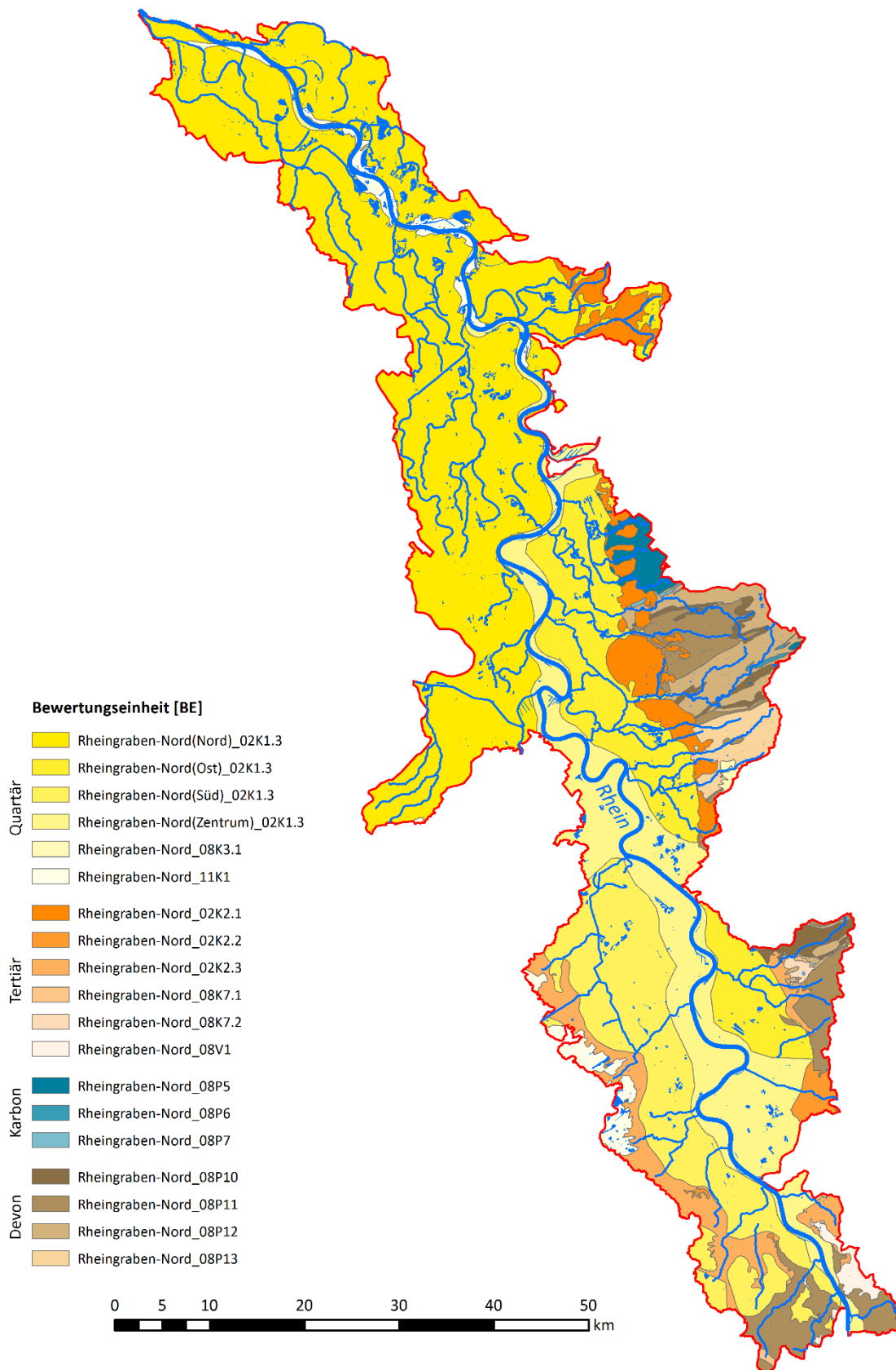


Abb. 18-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Rheingraben-Nord

Tab. 18-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Rheingraben-Nord

Rheingraben-Nord_		Fläche [km²]
(Nord)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	1 220,7
(Ost)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	344,9
(Süd)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	362,1
(Zentrum)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	498,2
08K3.1	quartäre Sande und Kiese	4,1
02K2.1	tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe (ohne Bk), östlicher Niederrhein	130,1
02K2.2	Braunkohlentertiär	19,2
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	129,0
08K7.1	tertiäre Sedimente	2,2
08K7.2	tertiäre Sedimente, silikatisch-organisch	4,7
08V1	känozoische Basalte und Tuffe	16,9
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	31,4
08P6	karbonische Schiefer, karbonatisch	2,3
08P7	karbonische Karbonate	1,6
08P10	paläozoische Karbonate	37,3
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	163,9
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	95,0
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	48,2
11K1	Quartär, anthropogen (Tagebaubereiche)	74,1

Zur BE 08P13 (paläozoische Sandsteine und Quarzite) wurden bei den meisten Untersuchungsparametern die Daten der gleichen BE aus dem benachbarten TEZG Wupper zugeschlagen, da diese dort ansonsten nicht auswertbar waren.

Die Datensätze der BE 08V1 (känozoische Basalte und Tuffe) wurden größtenteils in der vollständigen HGC ausgewertet.

18.3 Ergebnisse

In Tabelle 18-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 18-4 bis 18-9 in Karten dargestellt.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse hebt sich vor allem die tertiäre BE 02K2.1 hervor, da hier die ermittelten HGW am häufigsten über den Beurteilungswerten liegen. Sie sind hier erwartungsgemäß lithologiespezifisch relativ hoch, da Tone Schwermetalle binden können. Darüber hinaus besitzen die sandigen tertiären Horizonte einen nachweisbaren Anteil an sulfidischen (Pyrit-)Erzkörnchen. Neben Eisen liegen in den Pyriten auch andere Metalle akzessorisch vor, z. B. Arsen und Nickel. Nach BANNING (2008) und BANNING & RÜDE (2010) sind auch Paläo-Raseneisenerze innerhalb der tertiären Feinsande bekannt, in welchen neben Eisen auch weitere Metalle vorliegen. Die gegenüber den Beurteilungswerten erhöhten HGW für Arsen, Beryllium, Cadmium, Kobalt, Kupfer und Mangan in der tondominierten

BE 02K2.1 korrelieren mit den Ergebnissen im TEZG Ijsselmeerzuflüsse, obwohl die BE hier überwiegend bewaldet ist.

Mit 59,5 bis 66,3 µg/l sind die Barium-HGW in den tertiären BE gegenüber dem Beurteilungswert leicht erhöht. Die marinen tertiären Sedimente, insbesondere die Tone (Barium-Adsorption), weisen per se hohe Bariumgehalte auf (WEDEPOHL 1960; FISCHER & PUCHELT 1974; HORNBURG 2003). In den sandigen Einheiten des Tertiärs wird der Bariumgehalt im Wesentlichen durch die Anteile an Glimmer und an Kalifeldspäten im Gestein bestimmt. Der höchste Barium-HGW im TEZG RGN wurde mit 79,9 µg/l in der BE Nord_02K1.3 ermittelt. Hohe Bariumkonzentrationen sind typisch für Sickerwässer und Grundwässer in Moor- und Anmoorbereichen. Das Verhalten von Barium in der Wasserphase ist eng mit dem Schwefelkreislauf verknüpft. Das reduzierende Milieu und das Vorhandensein von organischer Substanz erhöhen in organikreichen Standorten die Löslichkeit von als Bariumsulfat festgelegtem Barium (MERKEL & SPERLING 1998; PUCHELT 1967). Der Barium-HGW im Grundwasser wurde im Quartär (HGC 02K1.3) mit 167 µg/l ermittelt, in vergleichbaren tertiären Sedimenten (HGC 02K2.3) liegt er bei 336 µg/l (HGW Gw 2012). Vor dem Hintergrund können die hier ermittelten HGW für Oberflächengewässer als plausibel angesehen werden.

In den BE 08P5, 08P11 und Ost_02K1.3 wurden für Blei, Zink und Cadmium sowie Kupfer, Mangan und Nickel die höchsten HGW im TEZG ermittelt. Innerhalb des flözleeren Oberkarbons (BE 08P5) befindet sich der Blei-Zink-Erzbezirk von Lintorf – Selbeck – Ratingen, während die BE 08P11 in den Velberter Erzbezirk fällt (Kap. 18.1). Die erhöhten HGW korrelieren somit mit bekannten Vererzungen im TEZG. Aber auch unabhängig von den vorgenannten Erzbezirken weisen die Tonsteine bzw. Tonschiefer der karbonischen und devonischen Einheiten (BE 08P5 und 08P11) erhöhte Metallgehalte auf (MERKEL & SPERLING 1998; WEDEPOHL 1995; HORNBURG 2003), die sich auf die natürlichen Hintergrundkonzentrationen der Gewässer auswirken können.

In der BE Ost_02K1.3 zeigt sich der Einfluss der oberstromig im Rheinischen Schiefergebirge gelegenen Erzlagerstätten. Die möglichen Zusammenhänge aus hydrologischer und hydrogeologischer Sicht wurden bereits in Kapitel 18.1 beschrieben. Die HGW für die Parameter Silber, Cadmium, Zink, Kupfer und Blei deuten dabei auf eine Verschleppung erhöhter Konzentrationen aus dem Rheinischen Schiefergebirge hin.

Innerhalb der BE Nord_02K1.3 sind Niedermoorbereiche und organische Böden verbreitet, die Einfluss auf das Stoffinventar der Oberflächengewässer nehmen können, da Metalle hier sowohl angereichert und fixiert, ebenso aber auch mobilisiert werden können (WIRSING 2005). Erhöhte HGW können vor allem bei den Parametern Arsen, Cadmium, Eisen, Mangan und Uran sowie Barium, Sulfat und Blei festgestellt werden und liegen mutmaßlich in den Moorstandorten begründet.

Tab. 18-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Rheingraben-Nord													
		(Nord) 02K1.3	(Ost) 02K1.3	(Süd) 02K1.3	(Zentrum) 02K1.3	02K2.1	02K2.2 08K7.1	02K2.3 08K7.2	08P5	08P6	08P10	08P11	08P12	08P13	08V1
Ag	n > BG		17												
	50. P.		0,020												
	90. P.	n.a.	0,036	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.		0,045												
As	n > BG	52	32	14	25	22	16	7	16	16	14	16	15	7	
	50. P.	0,9	0,6	0,5	1,0	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,7	
	90. P.	1,5	1,0	0,8	1,2	1,3	1,1	0,8	1,2	1,2	1,3	1,2	0,5	1,7	
	Max. N.	1,8	1,1	0,8	1,2	1,4	1,2	1,0	1,5	1,5	1,6	1,5	0,8	2,0	
B	n > BG	29	16		35	10	10	7							
	50. P.	35,8	55,6		40,4	45,1	45,2	49,8							
	90. P.	54,1	85,1	n.a.	50,4	67,5	58,8	72,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.	70,0	89,0		63,0	77,0	60,0	86,0							
Ba	n > BG	75	49	17	37	31	15	10		27	28	27	33	8	
	50. P.	50,7	34,4	35,8	55,3	41,8	48,6	38,7		21,9	21,9	21,9	26,9	32,8	
	90. P.	79,9	48,7	52,1	63,2	59,5	66,3	49,1	n.a.	34,0	34,8	34,0	45,1	46,9	
	Max. N.	96,0	60,0	56,1	71,0	70,0	79,0	50,0		43,0	47,0	43,0	41,0	46,0	
Be	n > BG	12	10			9		5				6			
	50. P.	0,05	0,05			0,04		0,01				0,03			
	90. P.	0,09	0,10	n.a.	n.a.	0,12	n.a.	0,08	n.a.	n.a.	n.a.	0,10	n.a.	n.a.	
	Max. N.	0,12	0,12			0,19		0,17				0,17			
Cd	n > BG	77	34	7	24	15	17	12		7	15	7	11	7	
	50. P.	0,06	0,08	0,02	0,02	0,10	0,03	0,19		0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	
	90. P.	0,18	0,35	0,04	0,03	0,36	0,15	0,36	n.a.	0,06	0,14	0,06	0,07	0,04	
	Max. N.	0,35	0,66	0,04	0,05	0,39	0,25	0,37		0,13	0,36	0,13	0,09	0,06	
Co	n > BG	45	32	10	24	22	23	9		14	12	14	13	7	
	50. P.	0,3	0,2	0,3	0,3	0,8	0,3	0,4		0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	
	90. P.	0,7	0,5	0,5	0,4	3,5	0,6	0,8	n.a.	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	
	Max. N.	1,2	0,9	0,5	0,5	5,1	1,2	0,8		0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	
Cr	n > BG	14	21	21	24	14				17	13	17	12		
	50. P.	0,2	0,3	0,3	0,7	0,3				0,4	0,2	0,4	0,2		
	90. P.	0,4	1,0	1,0	1,0	1,8	n.a.	n.a.	n.a.	2,1	2,4	2,1	1,1	n.a.	
	Max. N.	1,6	2,0	2,0	1,2	1,7				6,0	12,0	6,0	2,0		
Cu	n > BG	157	48	14	157	21	18	19		25	73	25	54	6	
	50. P.	2,2	2,5	1,3	2,2	2,8	1,8	3,6		1,7	1,8	1,7	1,4	1,4	
	90. P.	3,8	5,3	2,2	3,8	5,3	4,4	5,4	n.a.	3,1	3,3	3,1	3,6	2,7	
	Max. N.	5,1	10,0	2,7	5,1	6,3	5,4	6,0		3,8	4,5	3,8	7,5	2,0	
Fe	n > BG	85	53	18	34	53	53	12	35	35	24	35	59	6	
	50. P.	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	
	90. P.	1,5	0,6	1,0	0,3	1,1	1,1	0,8	0,6	0,6	0,9	0,6	0,4	0,7	
	Max. N.	1,7	0,7	1,5	0,3	1,6	1,6	0,9	1,0	1,0	1,3	1,0	0,7	0,8	
Hg	n > BG	8			15										
	50. P.	0,001			0,005										
	90. P.	0,005	n.a.	n.a.	0,007	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.	0,020			0,009										

Fortsetzung von Tabelle 18-2

Parameter	Kennwert	Rheingraben-Nord												
		(Nord) 02K1.3	(Ost) 02K1.3	(Süd) 02K1.3	(Zentrum) 02K1.3	02K2.1	02K2.2 08K7.1	02K2.3 08K7.2	08P5	08P6	08P10	08P11	08P12	08P13
Mn	n > BG	124	22	11	51	19	17	15		8	37	29	12	7
	50. P.	63,4	21,9	18,9	32,7	86,0	51,0	91,3		16,3	58,4	23,2	14,0	15,4
	90. P.	245,9	87,3	31,3	47,4	250,4	207,6	180,1	n.a.	81,9	259,8	64,4	71,1	137,0
	Max. N.	1040,0	120,0	38,0	65,0	220,0	240,0	180,0		140,0	350,0	110,0	150,0	290,0
Mo	n > BG	33	25	9	8	10	15	7		9	13	9	13	
	50. P.	0,2	0,3	0,2	0,7	0,1	0,2	0,3		0,0	0,0	0,0	0,0	
	90. P.	1,7	0,6	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	n.a.	0,3	0,3	0,3	0,6	n.a.
	Max. N.	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,3		1,0	0,5	1,0	6,0	
Ni	n > BG	50	26	9	24	16	17	12			22		9	6
	50. P.	1,9	1,1	1,7	1,3	2,9	1,8	4,2			1,3		2,1	1,4
	90. P.	3,0	3,7	3,0	2,3	6,2	3,2	9,2	n.a.	n.a.	9,9	n.a.	9,7	2,6
	Max. N.	3,3	7,6	2,9	3,1	7,3	3,4	6,0			30,0		20,0	2,6
Pb	n > BG	70	39	8	43	19	9	10		22	27	22	13	6
	50. P.	0,7	1,6	0,6	1,0	0,7	0,4	2,2		1,3	0,9	1,3	0,4	0,3
	90. P.	2,2	4,5	1,4	2,0	1,3	1,4	4,5	n.a.	2,0	2,4	2,0	1,6	0,6
	Max. N.	4,4	7,6	1,6	3,1	1,5	1,9	5,2		2,4	2,8	2,4	2,2	0,7
Se	n > BG	18			10									
	50. P.	0,8			0,6									
	90. P.	1,0	n.a.	n.a.	0,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,1			0,8									
SO ₄	n > BG	128	50	14	43	22	19	8		23	19	23	46	12
	50. P.	79,3	52,6	105,4	52,9	50,6	64,2	43,7		36,3	31,9	36,3	18,6	47,2
	90. P.	111,8	74,5	124,8	61,4	60,9	86,7	65,4	n.a.	53,0	63,0	53,0	25,2	60,6
	Max. N.	160,0	96,0	127,0	63,0	63,0	91,6	62,6		63,0	70,0	63,0	17,9	66,0
Ti	n > BG													
	50. P.													
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.													
Tl	n > BG	32	16		12	14		10						
	50. P.	0,02	0,01		0,02	0,01		0,01						
	90. P.	0,04	0,02	n.a.	0,02	0,05	n.a.	0,02	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,05	0,03		0,02	0,08		0,03						
U	n > BG	101	20	7	11	48	48	9		9	8	9	30	14
	50. P.	0,75	0,55	0,46	0,81	0,40	0,40	0,22		0,37	0,19	0,37	0,06	0,12
	90. P.	1,84	0,79	0,58	0,90	0,94	0,94	0,36	n.a.	0,70	1,26	0,70	0,20	0,91
	Max. N.	4,10	1,10	0,59	0,94	1,40	1,40	0,34		0,74	1,30	0,74	0,50	0,93
V	n > BG	34	28	12	11	21	21	10	13	13	9	13	8	
	50. P.	0,9	0,9	0,7	1,0	0,8	0,8	1,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	90. P.	1,4	1,4	1,2	1,4	1,1	1,1	2,3	1,6	1,6	1,2	1,6	0,9	n.a.
	Max. N.	1,6	1,6	1,5	1,3	1,3	1,3	2,5	3,0	3,0	2,0	3,0	1,3	
Zn	n > BG	202	52	13	9	19	25	18	71	71	80	71	44	14
	50. P.	13,8	17,3	14,8	11,7	16,7	11,1	48,1	12,8	12,8	16,1	12,8	11,5	8,3
	90. P.	31,2	39,4	34,9	30,3	38,6	19,1	76,3	29,7	29,7	41,5	29,7	30,4	17,7
	Max. N.	57,0	54,0	57,0	40,0	40,0	20,0	82,0	50,0	50,0	80,0	50,0	61,0	22,0

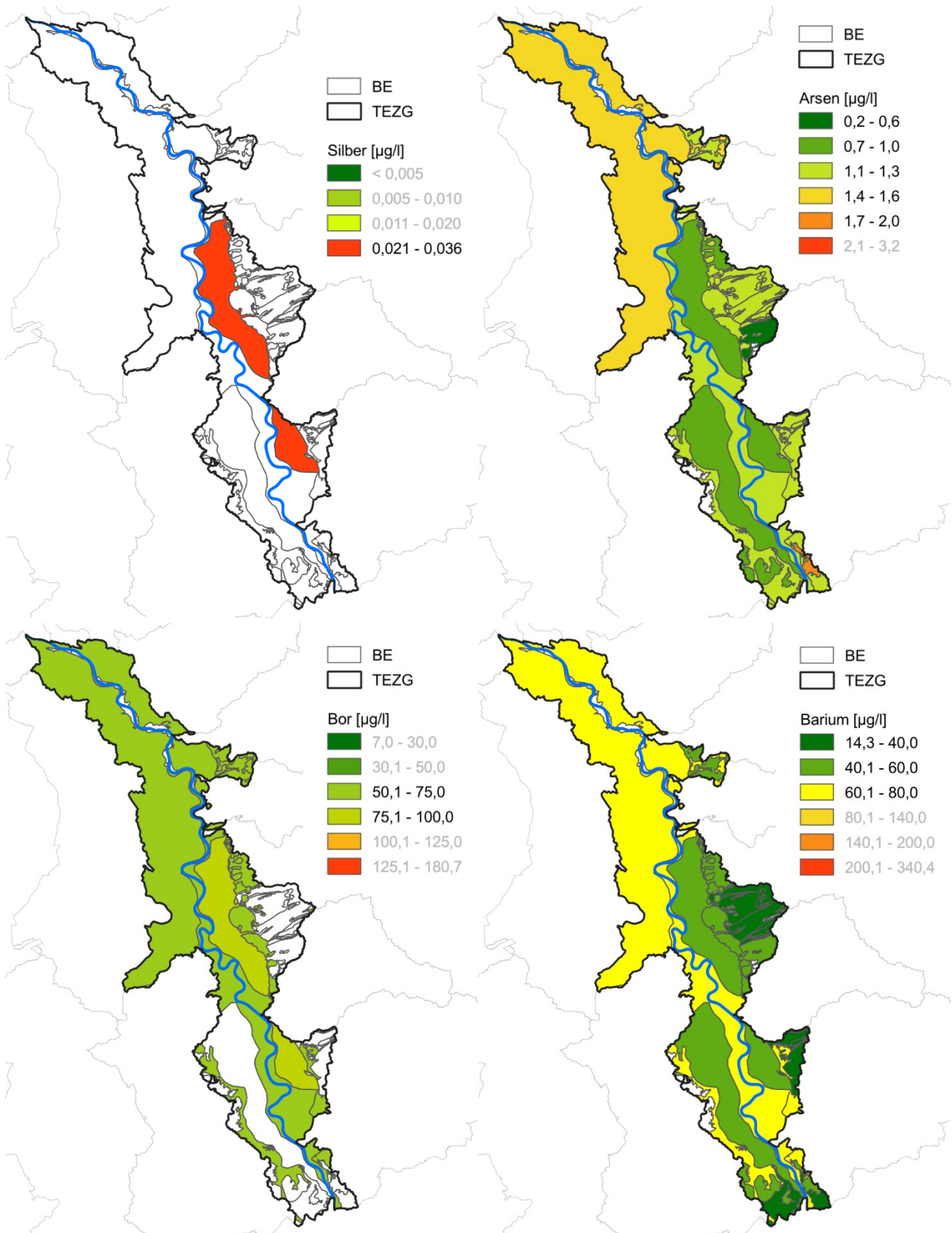


Abb. 18-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Rheingraben-Nord

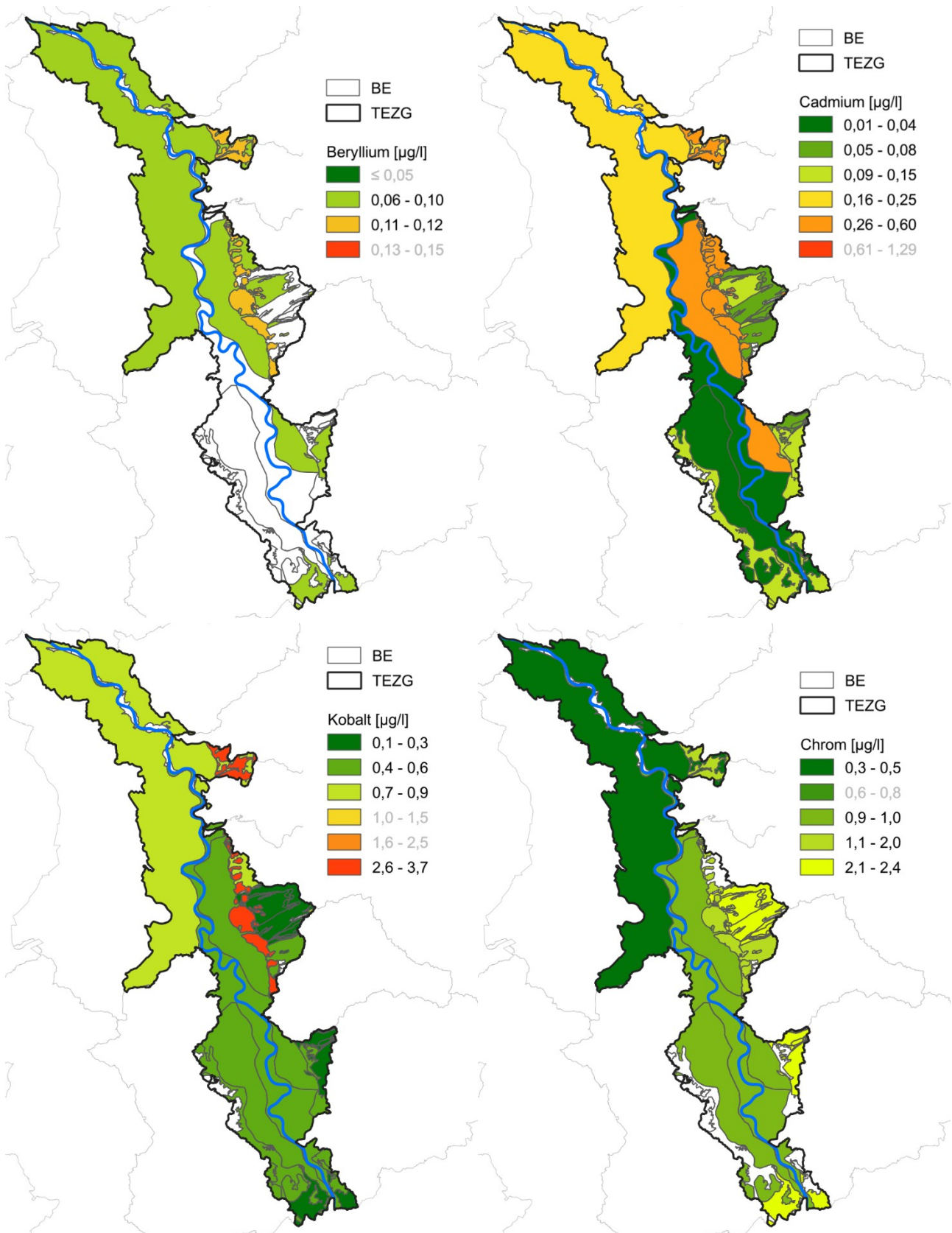


Abb. 18-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Rheingraben-Nord

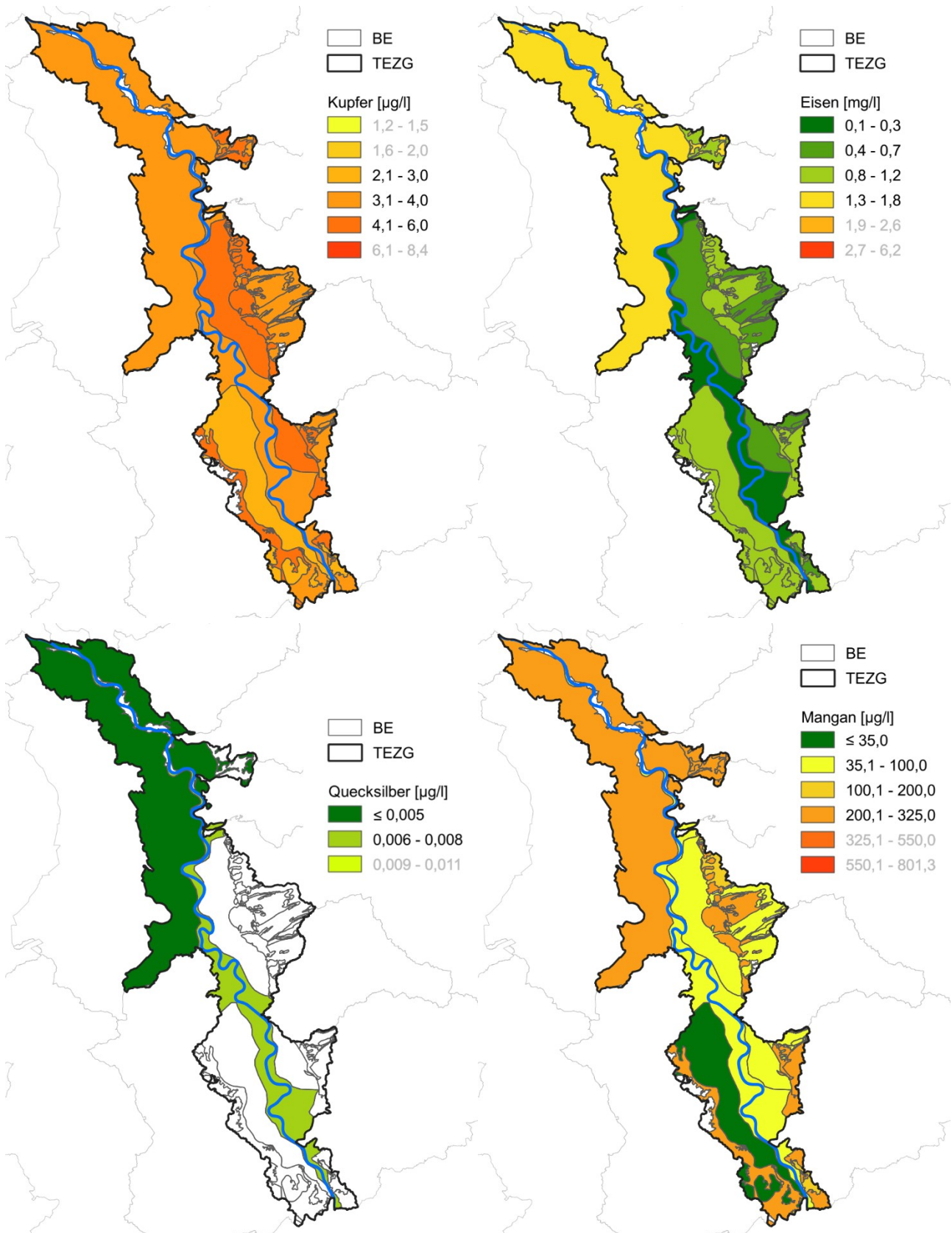


Abb. 18-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE des TEZG Rheingraben-Nord

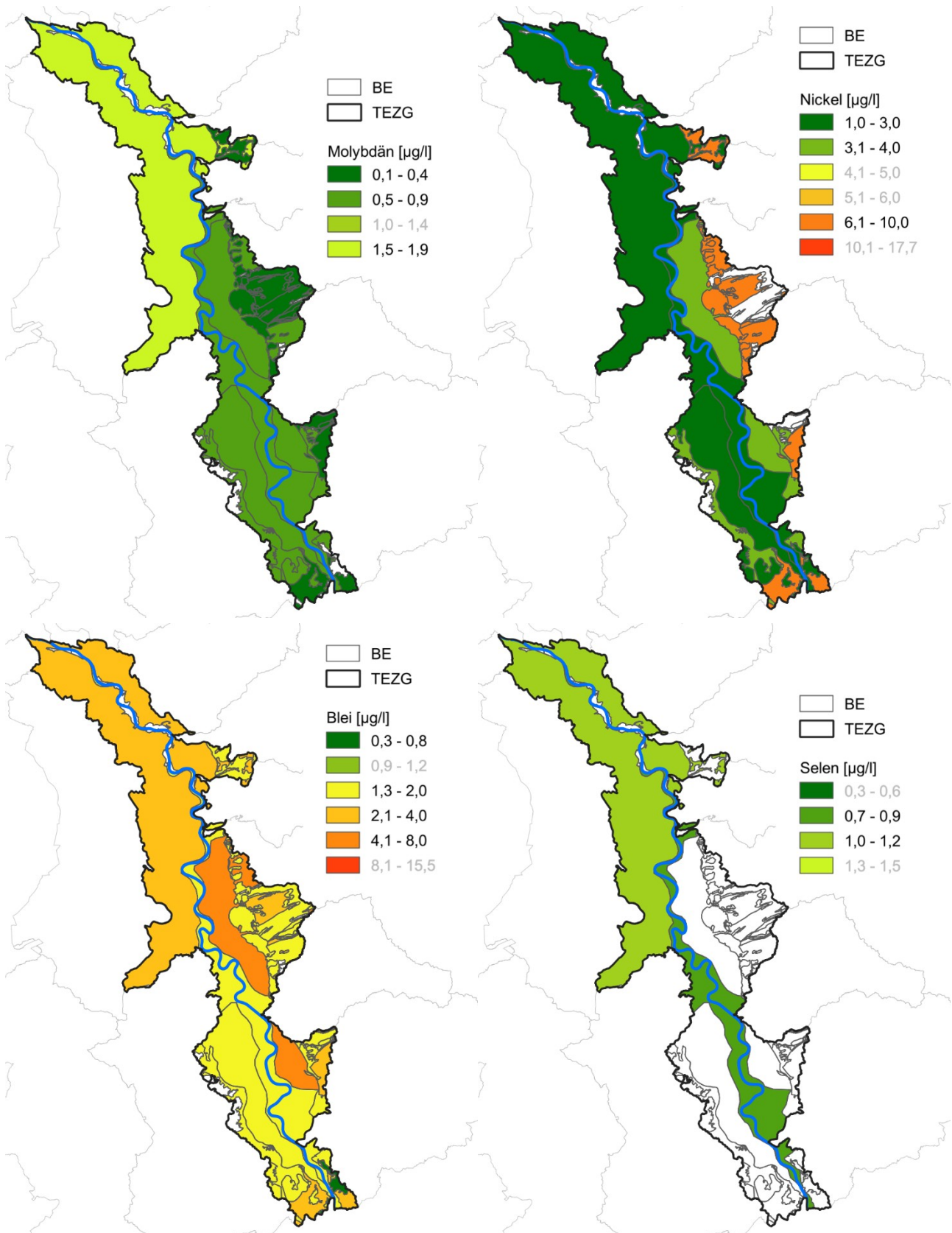


Abb. 18-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE des TEZG Rheingraben-Nord

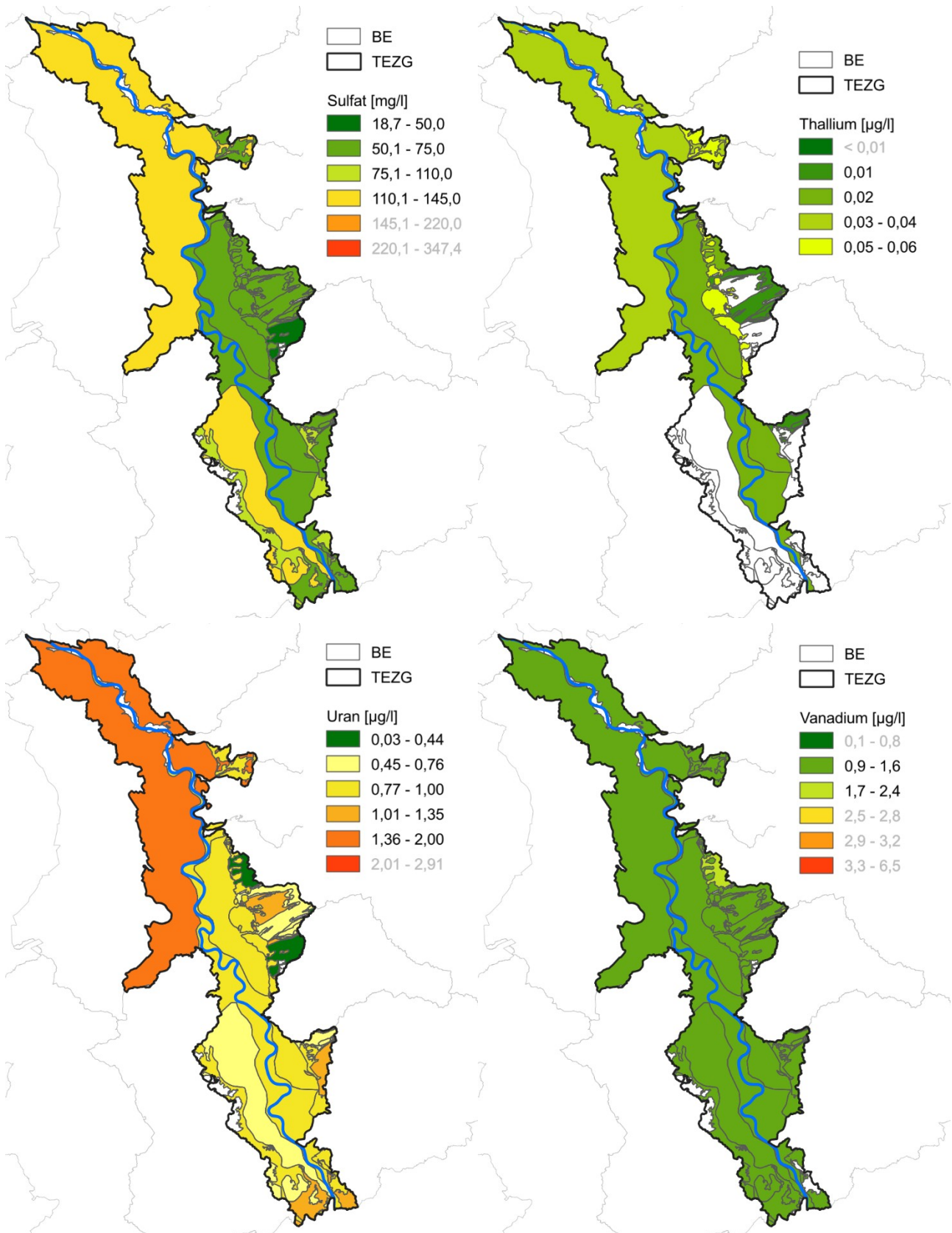


Abb. 18-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE des TEZG Rheingraben-Nord

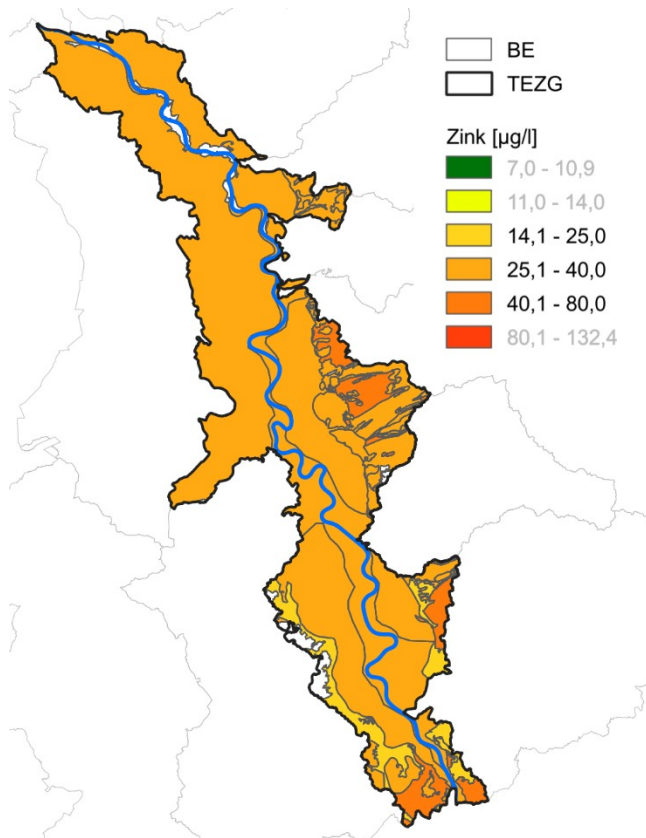


Abb. 18-9: HGW_{ges} für Zink in den BE des TEZG Rheingraben-Nord

19 Sonstige Deltarheinzuflüsse

19.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Sonstigen Deltarheinzuflüsse (DRS) gehört dem Niederrheinischen Tiefland an und liegt mit einer Größe von rund 142 km² am nordwestlichen Rand NRWs. Das Gebiet ist unter dem Einfluss wechselnder Abflussregime des Rheins während der letzten Eiszeit und danach entstanden; es umfasst Bereiche der Unteren Rheinniederung und der Niederrheinischen Höhen. Das TEZG wird durch die Landesgrenze zu den Niederlanden innerhalb NRWs in zwei räumlich getrennte Bereiche unterteilt, einen westlichen und einen östlichen Teil (Abb. 19-1). Als Teil der Niederrheinischen Höhen liegt die Geländeoberfläche im Süden des TEZG bei bis zu 103 m ü. NHN. Hier befindet sich die höchste Erhebung des TEZG nahe dem Gipfel des Klever Berges. In nördliche Richtung sinkt das Gelände bis auf etwa 8 m ü. NHN ab (WMS DTK 100). In Abbildung 19-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 19-2 zeigt die geologischen Verhältnisse im TEZG.

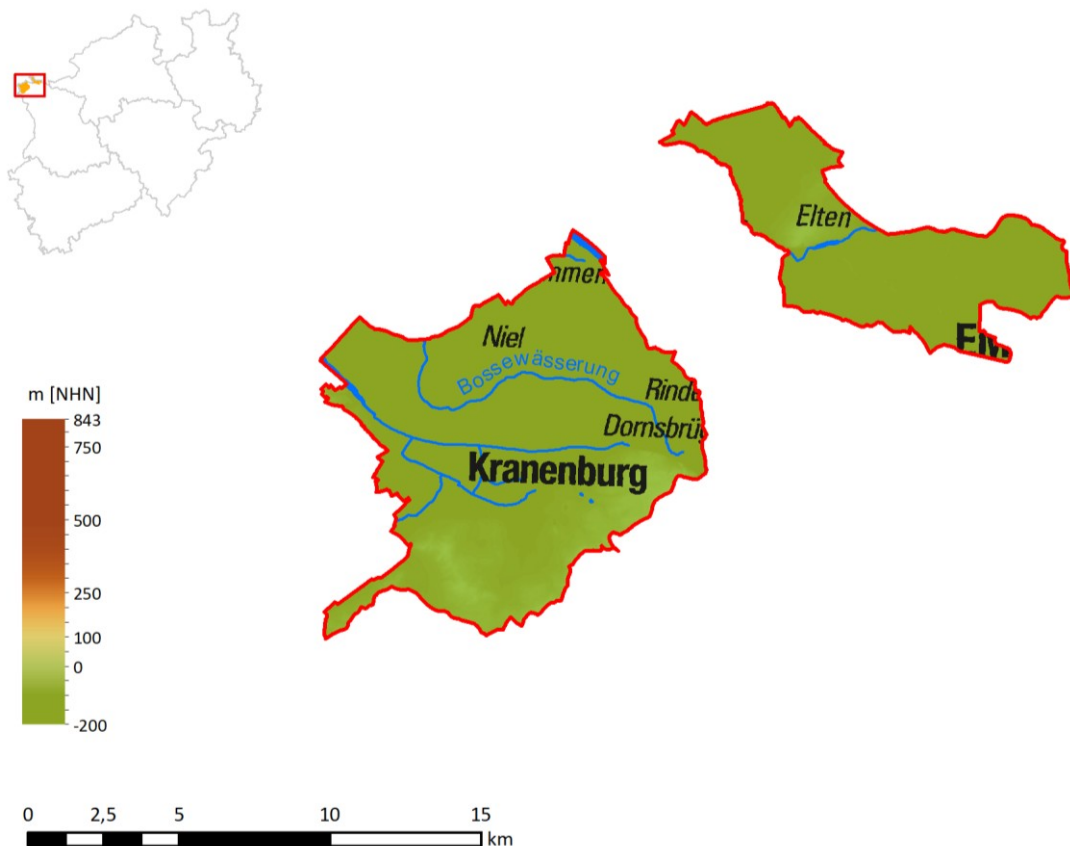


Abb. 19-1: TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

Die Gewässer innerhalb des TEZG sind größtenteils künstlich hergestellt worden. Sie dienen im Wesentlichen der Entwässerung von Flächen mit sehr geringem Flurabstand und damit deren Nutzbarmachung für landwirtschaftliche Zwecke. Die durch den westlichen Teilbereich des TEZG verlaufende Große Wässerung entspringt bei Donsbrüggen und fließt von dort aus nach Westen/Nordwesten, bevor sie in

die Niederlande übergeht. Mehrere überwiegend künstliche Nebengewässer münden in die Große Wässerung, darunter die Moorwässerung und der Kranenburger Bach sowie weitere kleine Nebengewässer. Ein ebenfalls im westlichen Bereich des TEZG verlaufendes Nebengewässer bildet die Bossewässerung, die in Rindern entspringt und von Südost nach Nordwest bis in die Niederlande verläuft. In ihr münden die Kleine Bossewässerung und weitere kleine Nebengewässer (MULNV 2021 c). Die Zwischenflächen werden zusätzlich von zahlreichen Entwässerungsgräben durchzogen. Durch den östlichen Teilbereich des TEZG verläuft die Wild. Sie entspringt nordwestlich von Emmerich am Rhein und fließt von dort aus innerhalb NRWs entlang der Landesgrenze von Ost nach West, bevor sie in die Niederlande übergeht. Auch in die Wild münden zahlreiche kleine, häufig künstliche Nebengewässer (MULNV 2021 c).

Das TEZG ist überwiegend landwirtschaftlich geprägt, wobei etwa 31 % seiner Fläche von Acker und etwa 36 % von Grünlandfläche eingenommen werden. Des Weiteren werden rund 18 % als Wald und circa 13 % als Siedlungs- und Gewerbefläche ausgewiesen (MULNV 2021 c). Innerhalb des TEZG liegen außerdem zahlreiche Naturschutz-, Landschaftsschutz- und Vogelschutzgebiete (MULNV 2021 c).

Geologie/Hydrogeologie

Der Untergrund des TEZG wird aus quartärzeitlichen Sedimenten des Niederrheingebietes aufgebaut (IS GK 100).

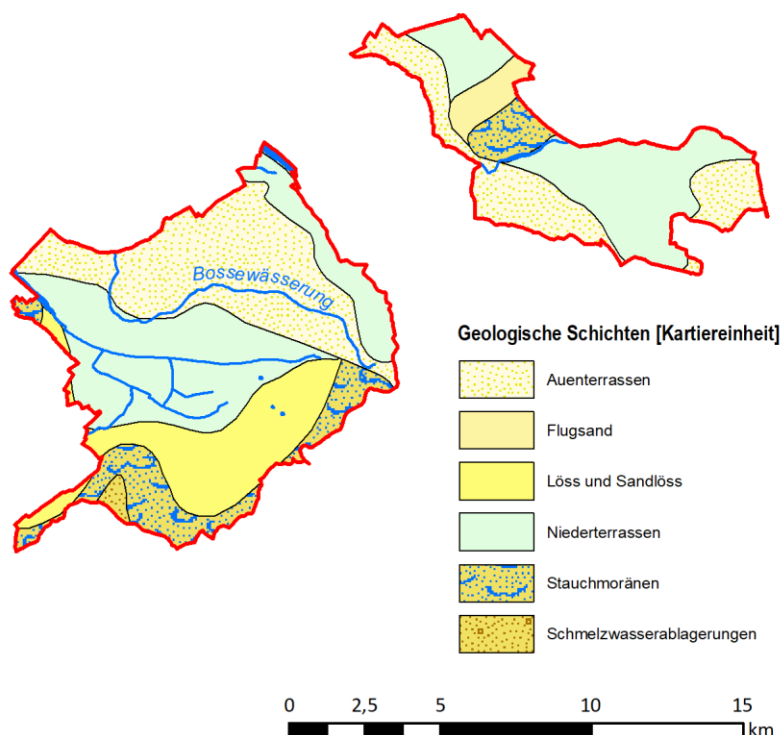


Abb. 19-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

Im Bereich des TEZG bilden mittelpleistozäne Schmelzwasserablagerungen und Stauchmoränen die ältesten Schichten; sie sind häufig von Löss, Sandlöss oder Flugsand bedeckt. Hinzukommend werden große Flächenanteile von pleistozänen Niederterrassen- sowie holozänen Auenterrassensedimenten eingenommen (IS GK 100). Die Terrassenkiessande sind meist von bindigen Sedimenten wie Hochflutlehm, Auenlehm oder Auenton bedeckt. Im östlichen Teilbereich des TEZG liegt ein ausgedehnter Dünenbereich vor.

Die Lockergesteine der quartären Terrassen sind als Porengrundwasserleiter mit einer mittleren Durchlässigkeit einzustufen (IS HK 100).

Die wenigen Quellen des TEZG sind überwiegend an die Stauchmoränen gebunden (IS Qk; KLOSTERMANN 1997), wo sie lokalen, begrenzten Grundwasservorkommen entspringen.

Trotz der intensiven Drainagemaßnahmen existieren im TEZG weiterhin zahlreiche Anmoor- und Niedermoorbereiche (IS BK 50).

Lagerstätten und Mineralisation

Im TEZG gibt es keine nennenswerten Erzvorkommen oder Erzlagerstätten (IS Erz).

19.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 19-3 und Tabelle 19-1 wird ein Überblick über die im TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse abgegrenzten BE gegeben.

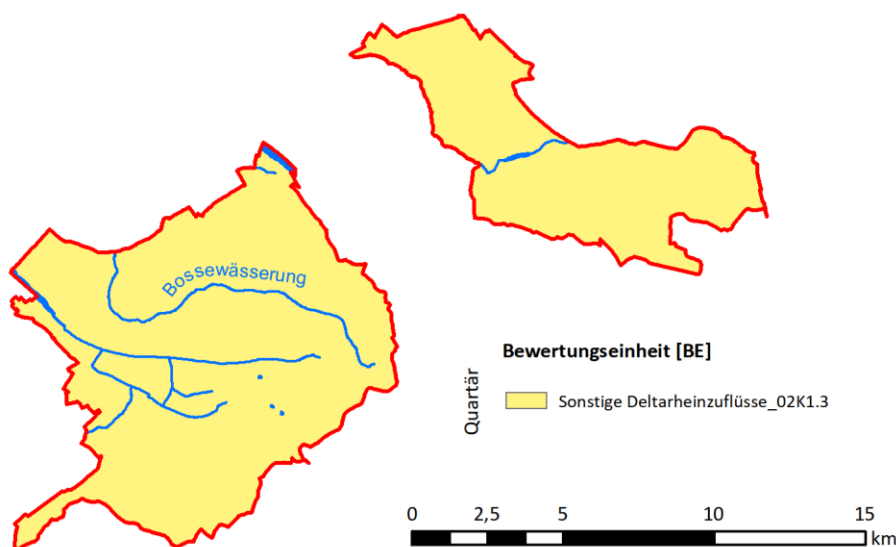


Abb. 19-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

Innerhalb des TEZG der Sonstigen Deltarheinzuflüsse ist ausschließlich die quartärzeitliche BE 02K1.3 anzutreffen.

Tab. 19-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

Sonstige Deltarheinzuflüsse_		Fläche [km ²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	141,4

19.3 Ergebnisse

In Tabelle 19-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 19-4 bis 19-9 in Karten dargestellt.

Tab. 19-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	DRS		Parameter	DRS		Parameter	DRS	
	Kennwert	02K1.3		Kennwert	02K1.3		Kennwert	02K1.3
Ag	n > BG		Cu	n > BG	14	SO ₄	n > BG	18
	50. P.			50. P.	1,5		50. P.	58,4
	90. P.	n.a.		90. P.	3,8		90. P.	70,3
	Max. N.			Max. N.	4,2		Max. N.	74,0
As	n > BG	19	Fe	n > BG	26	Ti	n > BG	
	50. P.	1,1		50. P.	0,5		50. P.	
	90. P.	1,7		90. P.	1,5		90. P.	n.a.
	Max. N.	1,9		Max. N.	1,7		Max. N.	
B	n > BG	11	Hg	n > BG	8	Tl	n > BG	32
	50. P.	37,2		50. P.	0,001		50. P.	0,02
	90. P.	42,9		90. P.	0,005		90. P.	0,04
	Max. N.	45,0		Max. N.	0,020		Max. N.	0,05
Ba	n > BG	20	Mn	n > BG	11	U	n > BG	12
	50. P.	43,0		50. P.	88,2		50. P.	0,76
	90. P.	81,4		90. P.	431,7		90. P.	0,98
	Max. N.	100,0		Max. N.	590,0		Max. N.	1,00
Be	n > BG	5	Mo	n > BG	8	V	n > BG	11
	50. P.	0,04		50. P.	0,3		50. P.	1,1
	90. P.	0,08		90. P.	0,4		90. P.	1,9
	Max. N.	0,07		Max. N.	0,4		Max. N.	2,5
Cd	n > BG	15	Ni	n > BG	15	Zn	n > BG	14
	50. P.	0,01		50. P.	2,3		50. P.	10,4
	90. P.	0,07		90. P.	3,6		90. P.	28,4
	Max. N.	0,15		Max. N.	4,3		Max. N.	46,0
Co	n > BG	17	Pb	n > BG	22			
	50. P.	0,4		50. P.	0,6			
	90. P.	0,7		90. P.	1,8			
	Max. N.	1,0		Max. N.	2,9			
Cr	n > BG	6	Se	n > BG	18			
	50. P.	0,2		50. P.	0,8			
	90. P.	1,4		90. P.	1,0			
	Max. N.	1,8		Max. N.	1,1			

Innerhalb der BE 02K1.3 weisen unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Beurteilungswerte mehrere Parameter Auffälligkeiten auf. Dabei handelt es sich um Arsen, Barium, Kupfer, Eisen, Mangan, Blei, Uran und Zink. Sowohl die Tonfraktion als auch organische Substanzen innerhalb der quartären Sedimente kommen als potenzielle Eintragsquellen für Metalle in Frage. Hinzu kommen möglicherweise vorhandene Eisen- und Mangan(hydr)oxide sowie Auen-, Anmoor- und Moorstandorte innerhalb des TEZG. Metalle können dort nicht nur angereichert und fixiert, sondern auch mobilisiert werden (WIRSING 2005), sodass potenzielle Eintragspfade in die Oberflächengewässer bestehen. Vergleichbare HGW können auch in der BE Nord_02K1.3 des TEZG Rheingraben-Nord angetroffen werden, die südöstlich an die BE 02K1.3 der Sonstigen Deltarheinzuflüsse anschließt.

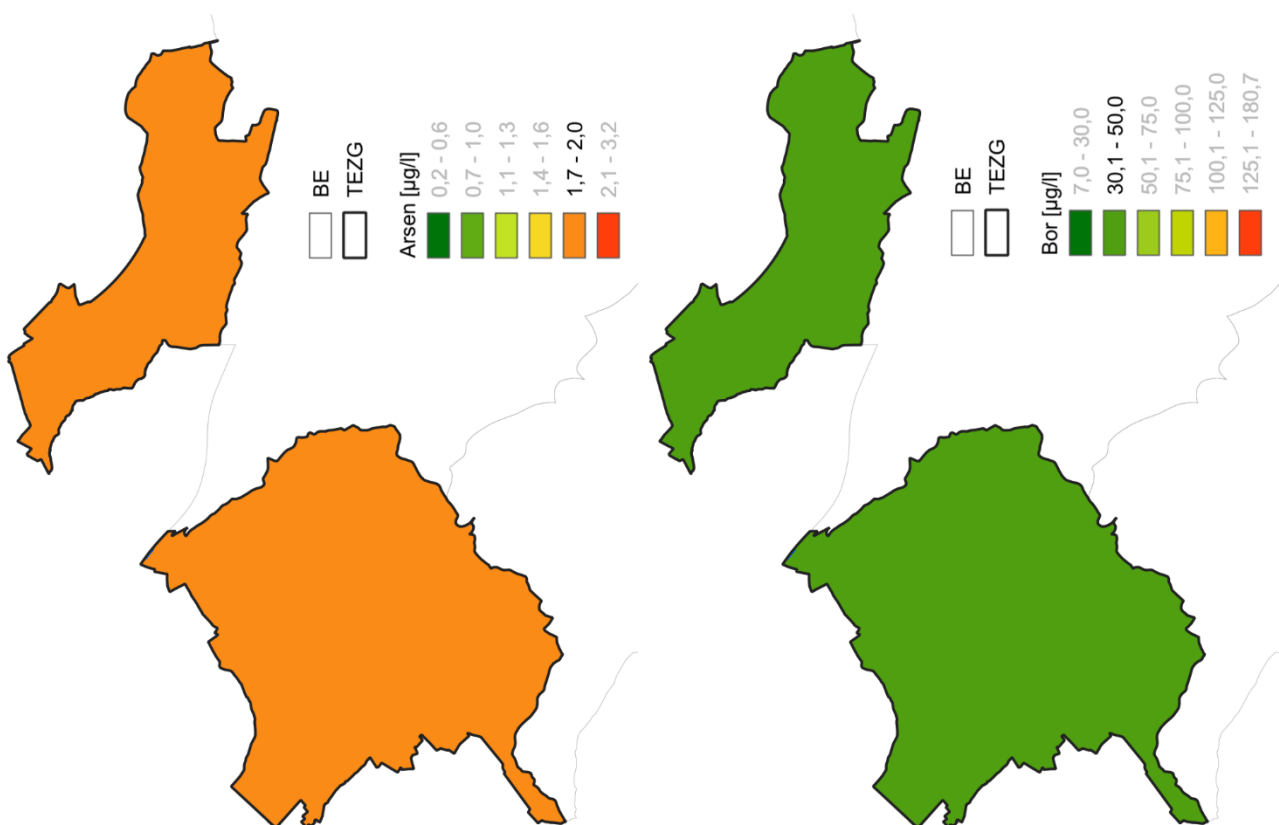


Abb. 19-4: HGW_{ges} für Arsen und Bor in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

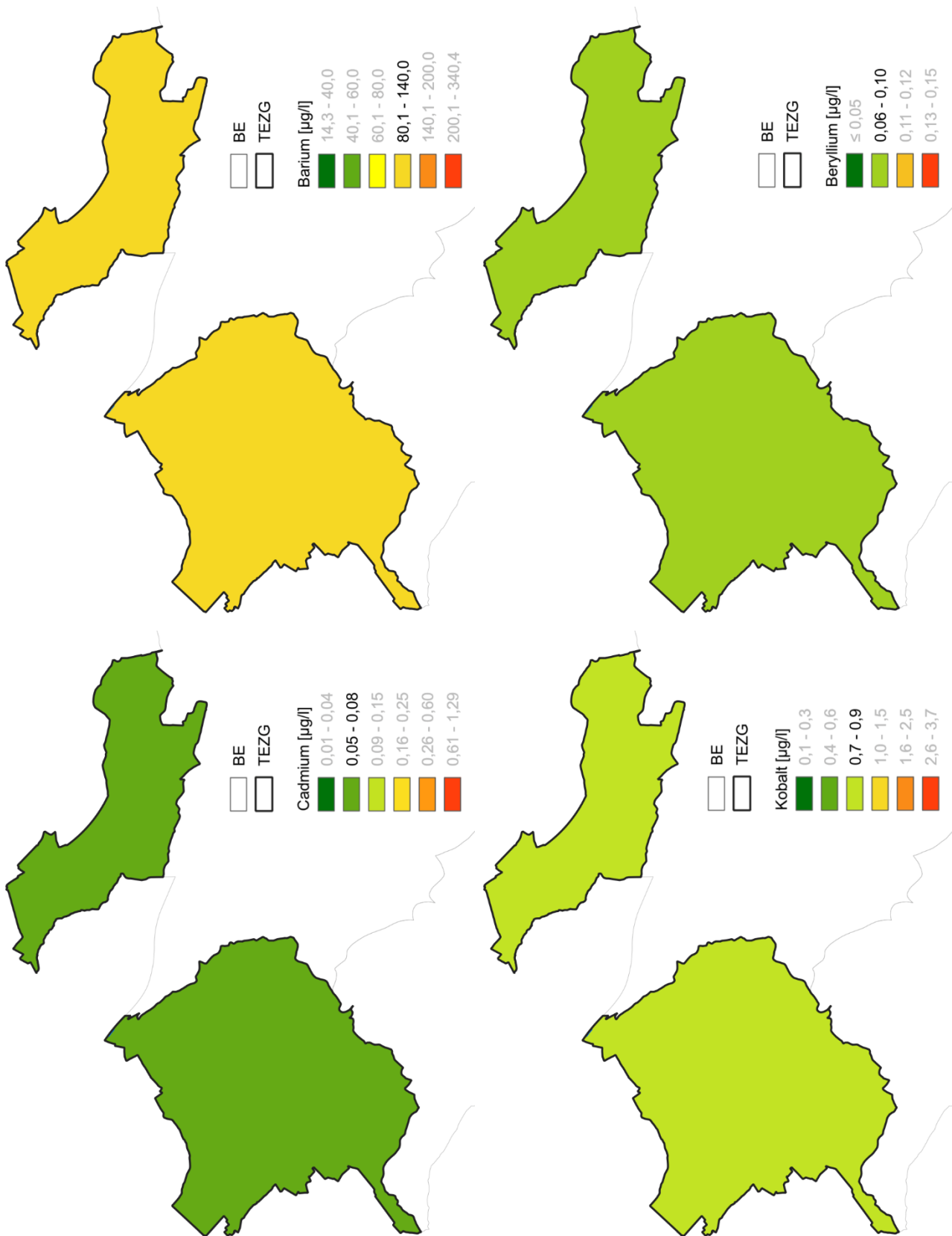


Abb. 19-5: HGW_{ges} für Barium, Beryllium, Cadmium und Kobalt in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

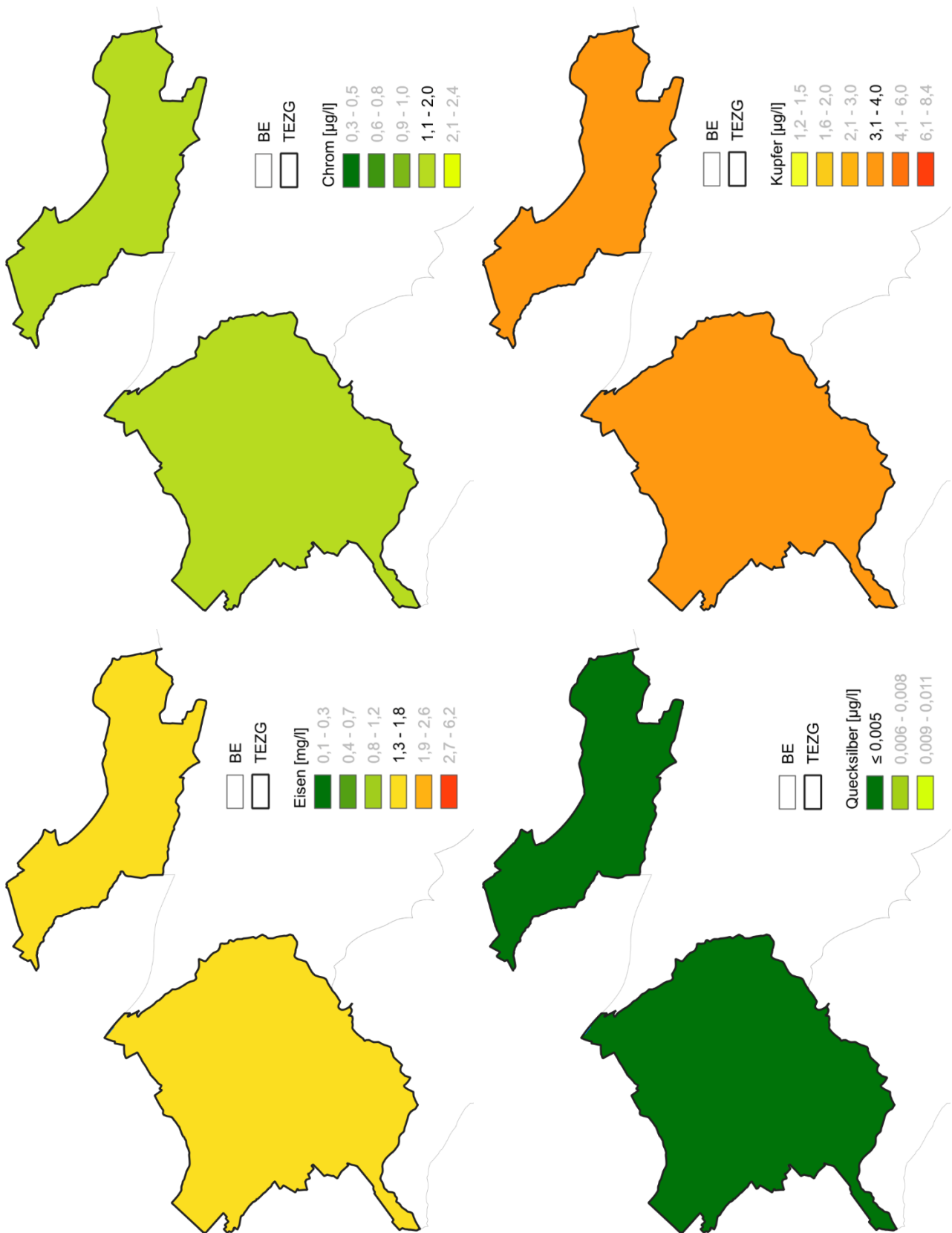


Abb. 19-6: HGW_{ges} für Chrom, Kupfer, Eisen und Quecksilber in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

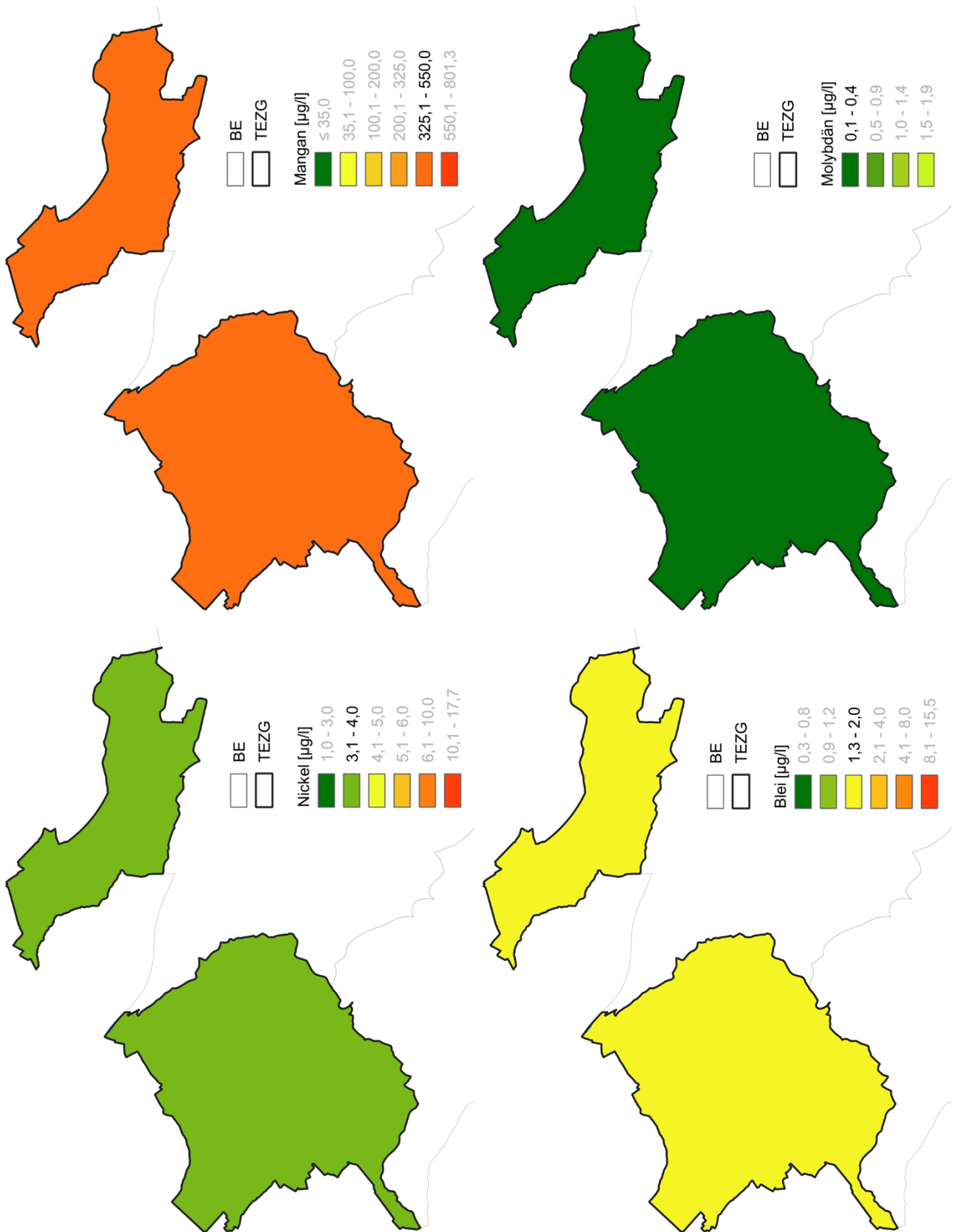


Abb. 19-7: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

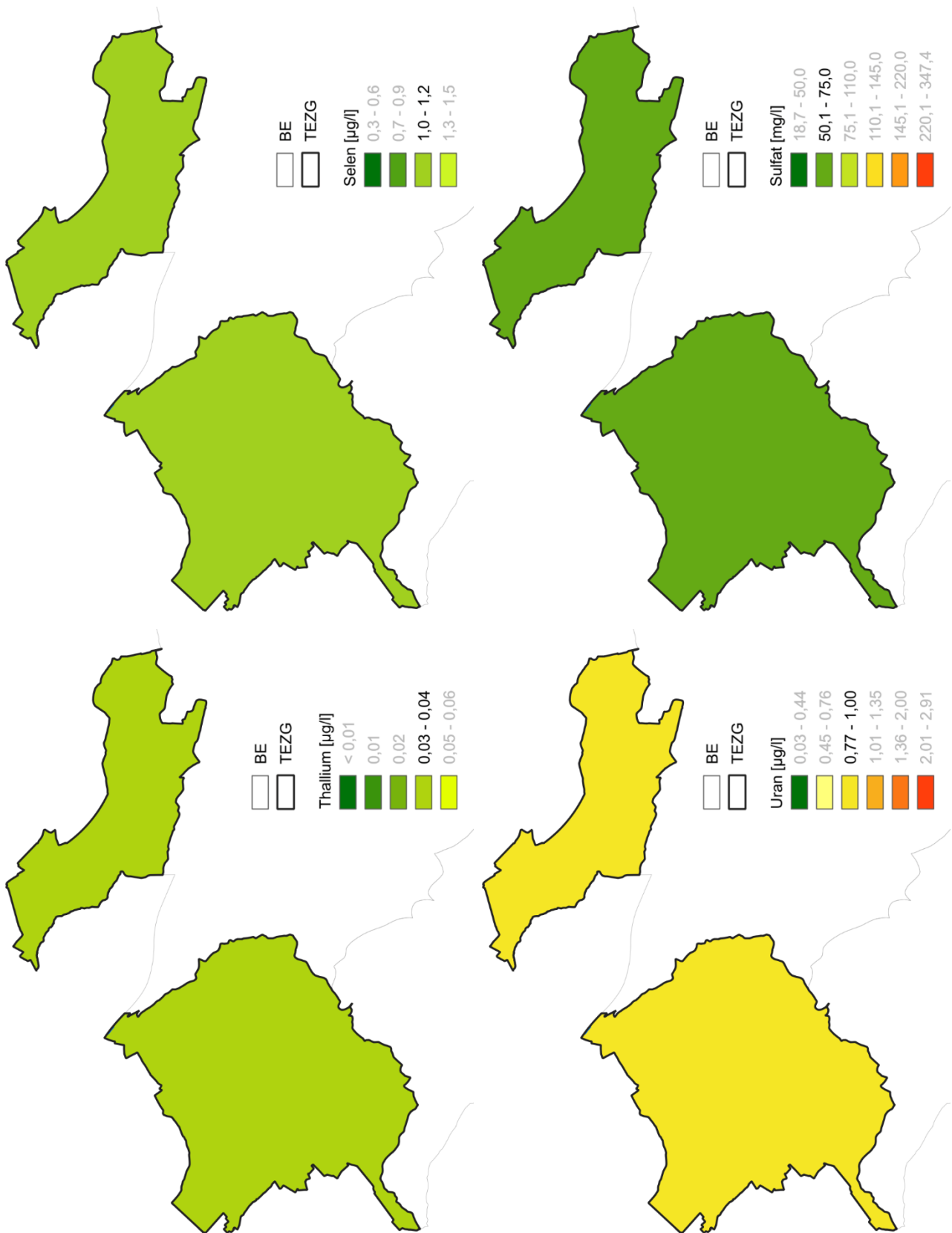


Abb. 19-8: HGW_{ges} für Selen, Sulfat, Thallium und Uran in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

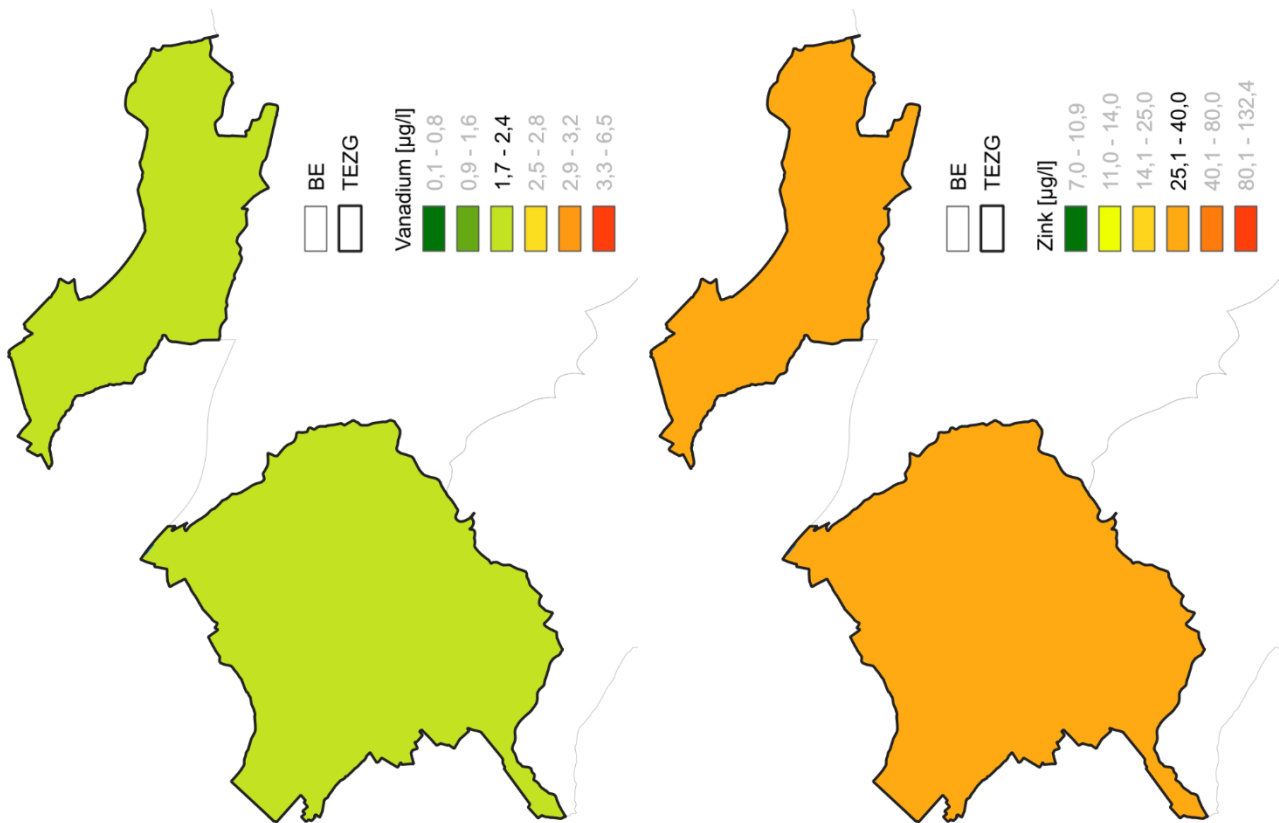


Abb. 19-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE des TEZG Sonstige Deltarheinzuflüsse

20 Ijsselmeerzuflüsse

20.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Ijsselmeerzuflüsse erstreckt sich mit einer Fläche von 2 184 km² vom Niederrheinischen Tiefland (Ijsslebene und Niederrheinische Sandplatten) bis in den Nordwesten der Westfälischen Bucht (Teile des West- und Kernmünsterlandes). In der Abbildung 20-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 20-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.

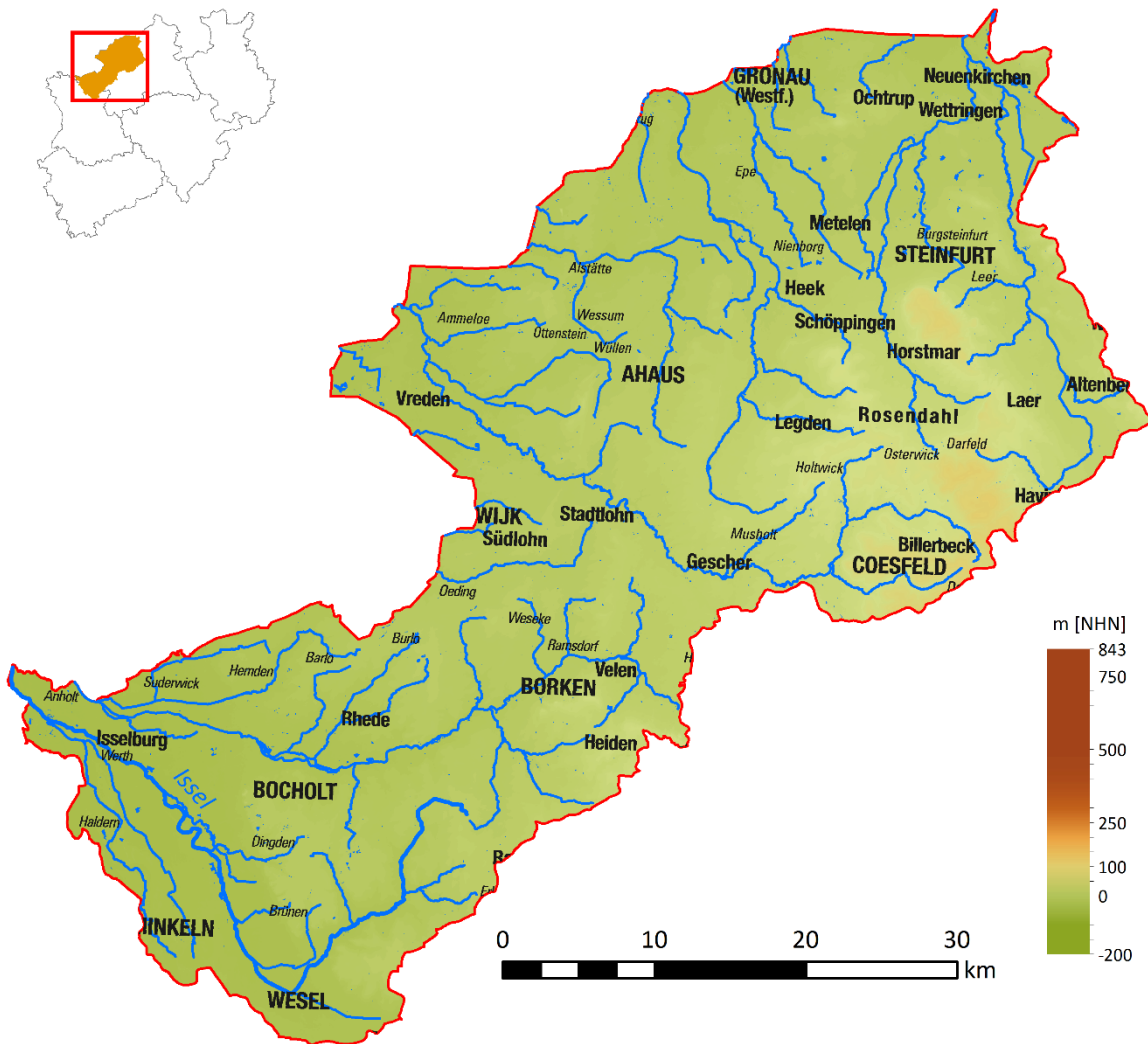


Abb. 20-1: TEZG Ijsselmeerzuflüsse

Morphologisch bilden die Baumberge sowie die Coesfeld-Daruper Höhen und der Schöppinger Rücken mit bis zu 170 bzw. 150 m ü. NHN die höchsten Punkte im TEZG (Abb. 20-1).

Das Gebiet wird überwiegend durch Landwirtschaft geprägt, sodass knapp 70 % des TEZG als landwirtschaftliche Flächen genutzt werden (ATKIS). In der wissenschaftlichen Analyse der TEZG anlässlich der ersten Bestandsaufnahme (MUNLV 2005 h) werden rund 54 % der Gesamtfläche als Ackerflächen ausgewiesen.

Das Gewässernetz zeichnet sich durch acht Hauptgewässer aus (MUNLV 2005 b). Berkel, Ahauser Aa, Dinkel, Vechte und Steinfurter Aa entspringen im quellenreichen Gebiet am Fuß der Baumberge und folgen weitestgehend einem Süd-Nord-Verlauf. Ijssel, Bocholter Aa und Schlinge verlaufen durch den Westen des TEZG und fließen im Schnitt von Osten nach Westen. Nutzungsbedingt durchziehen zahlreiche Entwässerungsgräben das Gebiet.

Geologie/Hydrogeologie

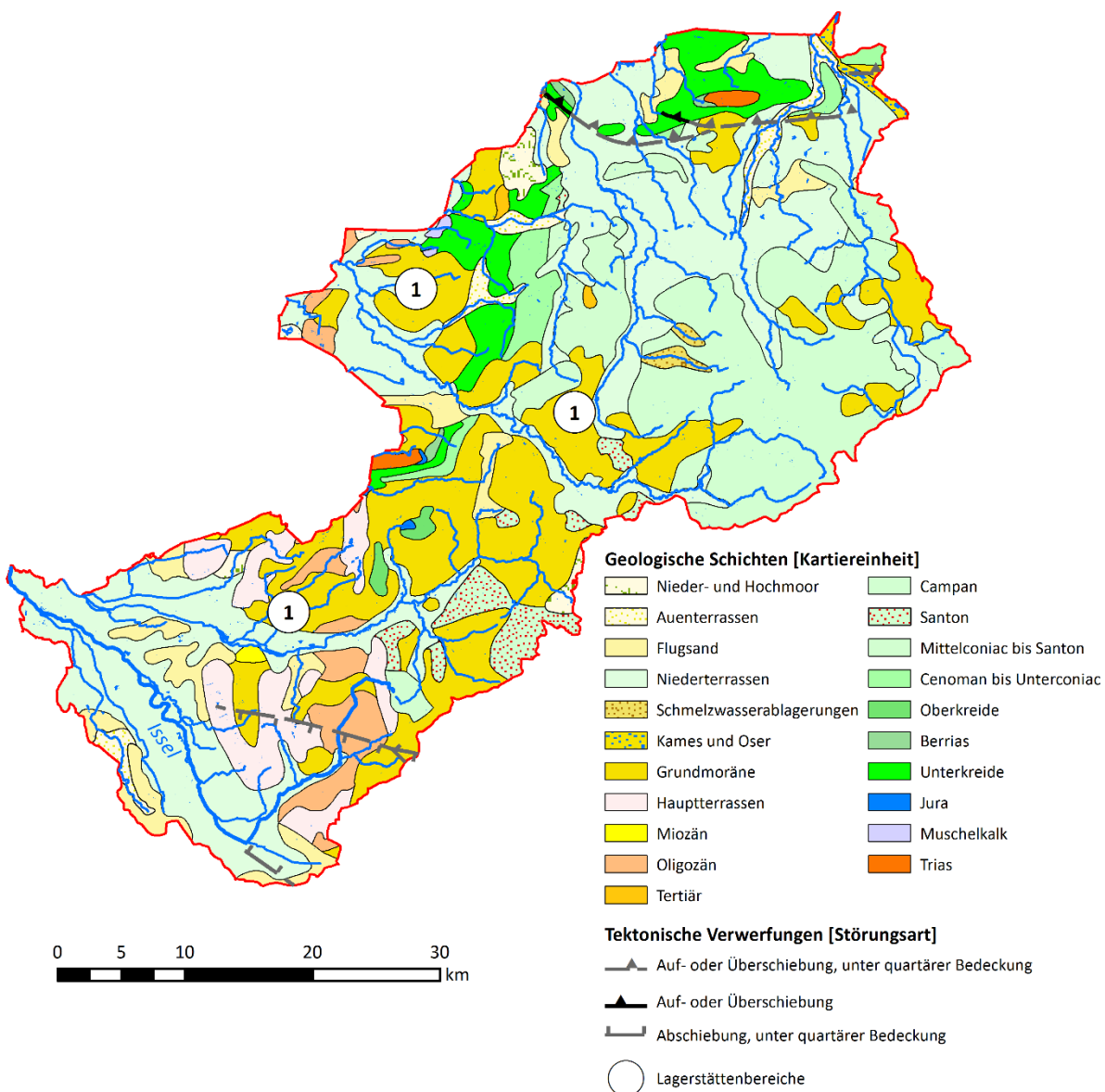


Abb. 20-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Ijsselmeerzuflüsse

Das TEZG der Ijsselmeerzuflüsse befindet sich im nordwestlichen Randbereich des Münsterländer Kreide-Beckens im Übergang zum Niederrheinischen Tiefland. Hier weist der paläozoische Untergrund vorwiegend eine geringere tektonische Beanspruchung auf, sodass breite, flache Mulden vorherrschen (Nordwest – Südost und West – Ost), auf denen das Kreide-Deckgebirge aufliegt (GLA 1995). Markantere Strukturen bilden die Ochtruper Störungszone mit dem Ochtruper Sattel im Norden sowie der Winterwijker und der Weseker Sattel im Zentrum des TEZG. Hier treten Gesteine der Trias (Buntsandstein) und des Juras (Dogger) an die Oberfläche (GLA 1995; IS GK 100).

Geologisch wird das TEZG durch Sedimente der Kreide und des Quartärs dominiert (vgl. Abb. 20-2). Während in den Höhenlagen im Südosten (West- und Kernmünsterland) überwiegend Tonmergel- und Mergelsteine sowie Kalkmergelsteine der Oberkreide anstehen, werden diese im Norden und Westen der Ijsselmeerzuflüsse zunehmend durch mächtigere quartärzeitliche Sedimente (Grundmoräne, Niederterrasse) überdeckt (IS GK 100; Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Sedimente des Tertiärs wurden im Bereich der Ijsselmeerzuflüsse überwiegend abgetragen. Vornehmlich in dem Nord – Süd verlaufenden Streifen der Niederrheinischen Sandplatten (im Bereich Rhede) stehen Sedimente des Oligozäns an (v. a. Rupel-Formation, Grafenberg-Formation). Die tertiärzeitlichen Schichten sind nach Westen hin verkippt und werden vermehrt durch Terrassensedimente überlagert (GLA 1995).

Die kreidezeitlichen Sedimente bilden einen Kluftgrundwasserleiter, der im Bereich der Baumberge örtlich verkarstet ist (GLA 1995). Am Fuß der Baumberge sowie der Coesfeld-Daruper Höhen und des Schöppinger Rückens liegen Quellaustritte, die beispielsweise die Steinfurter Aa, die Vechte und die Berkel speisen. Entsprechend der Verbreitung der Terrassensedimente ist vor allem im Norden und Westen des TEZG der oberste Grundwasserleiter als Porengrundwasserleiter ausgebildet. Zwischen Velen und Borken, im Übergang zum TEZG der Lippe, bilden die Sande der Haltern-Formation als kreidezeitliche Sedimente ebenfalls einen Porengrundwasserleiter, der infolge seiner hohen Ergiebigkeit eine große wasserwirtschaftliche Bedeutung hat (GLA 1995). Fast im gesamten TEZG besteht eine Anbindung der Gewässer an das Grundwasser (MUNLV 2005 b).

Einhergehend mit den überwiegend geringen Flurabständen entstanden ab dem mittleren Holozän weitflächige Niedermoore in Talauen sowie Hochmoore in abflussarmen Gebieten (GLA 1995). Trotz darauffolgender Erosionsphasen sowie umfassender Abtorfungen blieben bis heute einzelne Mooregebiete erhalten (z. B. Schwarzes Venn, Burlo-Vardingholter Venn und Entenschlatt, Amtsvenn).

Lagerstätten und Mineralisation

Von Ahaus über Borken bis Isselburg liegen Hinweise auf flächendeckende Raseneisenerzvorkommen vor (verliehenes Bergwerksfeld ‚**Fürstlich Salm Salm’sches Regal**‘; Abb. 20-2 Verbreitung beispielhaft im Bereich der Markierung 1). Untersuchungen durch BANNING & RÜDE & DÖLLING (2013) identifizieren die Sande der Haltern-Formation als primäre Arsen-Quelle. Durch Umlagerungsprozesse erfolgte aber auch eine Anreicherung von Arsen in Raseneisenerzen (Eisenhydroxide), sodass die vorliegenden Vererzungen

gen als Sekundärquelle ebenfalls erhöhte geogene Arsengehalte aufweisen (BANNING & RÜDE & DÖLLING 2013).

Moorstandorte und organisch geprägte Böden zeichnen sich durch ihre hohen Gehalte an Huminstoffen aus und können Schwermetalle sowohl fixieren als auch mobilisieren. So können beispielsweise Schwermetalle durch Ionenaustauschprozesse an Torfmoose gebunden oder auch mit Humin- und Fulvosäuren lösliche Metallkomplexe gebildet werden (WIRSING 2005).

20.2 Bewertungseinheiten

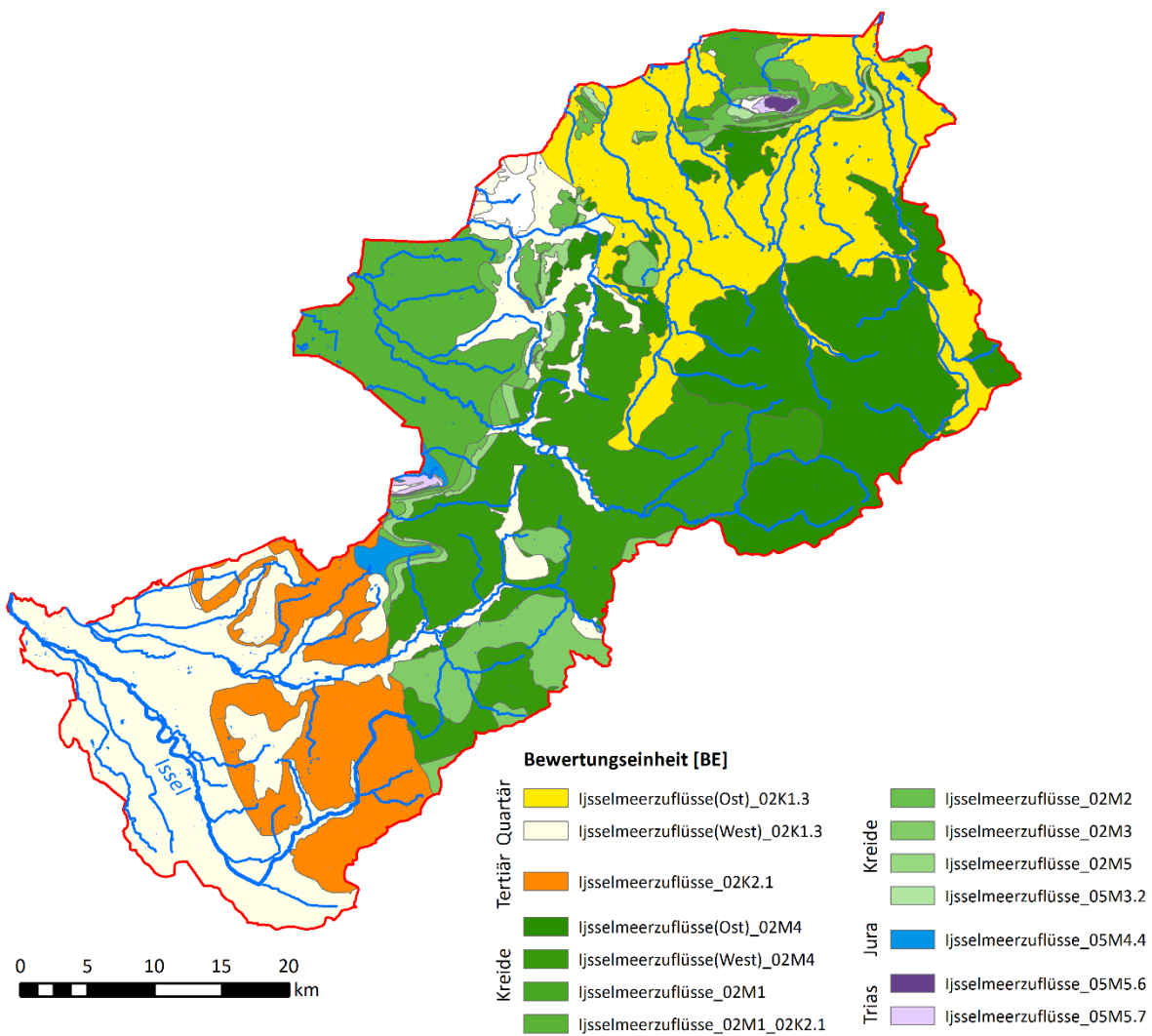


Abb. 20-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Ijsselmeerzuflüsse

In Abbildung 20-3 und Tabelle 20-1 wird ein Überblick über die im TEZG Ijsselmeerzuflüsse abgegrenzten BE gegeben.

Tab. 20-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Ijsselmeerzuflüsse

Ijsselmeerzuflüsse_		Fläche [km²]
(Ost)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	394,5
(West)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	475,0
02K2.1	tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe (ohne Bk), östlicher Niederrhein	197,5
02M1	Unterkreide, silikatisch	28,4
02M1_02K2.1	Unterkreide, silikatisch _ tertiäre Feinsande	167,7
02M2	Unterkreide, silikatisch/karbonatisch	58,8
02M3	Oberkreide, silikatisch	85,1
(Ost)_02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	347,5
(West)_02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	363,9
02M5	Oberkreide, karbonatisch	25,7
05M3.2	Kreide, vorwiegend silikatisch	3,6
05M4.4	Dogger	11,2
05M5.6	Buntsandstein	1,9
05M5.7	Buntsandstein, tonig-salinar	4,6

Vereinzelte BE konnten im TEZG der Ijsselmeerzuflüsse nicht ausgewertet werden, da nicht ausreichend Messstellen zur Verfügung standen. Betroffen sind die Einheiten 02M1, 02M2, 02M5 und 05M3.2. Diese BE haben nur einen schmalen oder kleinräumigen Ausbiss (Abb. 20-3), sodass Gewässer die Einheit nur in einem kurzen Stück queren und daher nur wenige bis keine repräsentativen Messstellen für die BE existieren.

Weitere BE waren ebenfalls im TEZG der Ijsselmeerzuflüsse nicht eigenständig auswertbar. Hier konnten jedoch TEZG-übergreifende Auswertungen durchgeführt werden, indem die einzelnen BE wieder zu einer HGC zusammengefasst und gemeinschaftlich ausgewertet wurden. Auf diese Weise konnten für die HGC 02M3 (Oberkreide, silikatisch), 05M4.4 (Dogger), 05M5.6 (Buntsandstein) und 05M5.7 (Buntsandstein, tonig-salinar) HGW ermittelt werden.

Wie in Tabelle 20-1 aufgeführt, wurde sowohl die BE 02K1.3 (Quartär) als auch die BE 02M4 (Oberkreide) in einen Ost- und einen Westteil untergliedert. Abweichende Sedimentausbildungen sowie Vorkommen von Raseneisenerzen ließen sich bei einzelnen Parametern in Bezug zu natürlichen Konzentrationsabweichungen (Teilpopulationen) setzen, sodass dort eine räumlich differenzierte Auswertung erforderlich wurde.

20.3 Ergebnisse

In Tabelle 20-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 20-4 bis 20-9 in Karten dargestellt.

Hinsichtlich der ermittelten Hintergrundkonzentrationen zeigen sich im TEZG der Ijsselmeerzuflüsse einzelne BE unter Berücksichtigung der Beurteilungswerte besonders auffällig. Dabei handelt es sich

erwartungsgemäß um die (tonigen) tertiärzeitlichen Sedimente (BE 02K2.1 und 02M1_02K2.1) (HORNBURG 2003) sowie den Verbreitungsbereich der silikatischen Oberkreide (02M3; Halterner Sande). Vorhandene Vergleichswerte im Grundwasser (HGW im Grundwasser und Grundwassermessstellen) bestätigen die ermittelten HGW (mit Ausnahme von Kupfer) (HGW Gw 2012).

Verschiedene Parameter heben sich im Gegensatz zu den BE nahezu flächendeckend hervor (Tab. 20-2): Dabei handelt es sich vor allem um Arsen, Barium, Kupfer, Mangan, Nickel und Uran sowie Vanadium und Zink.

Wie durch BANNING & RÜDE & DÖLLING (2013) aufgezeigt, können sowohl die Sande der Haltern-Formation als auch Raseneisenerze als Arsen- und Eisen-Quellen fungieren. Ebenso ist bekannt, dass sich (u. a.) Mangan in Raseneisenerzen anreichert (KACZOREK et al. 2004). Durch die weiträumige Verbreitung der Raseneisenerze werden nicht nur die Halterner Sande (BE 02M3), sondern auch die restlichen BE der Ijsselmeerzuflüsse entsprechend beeinflusst (vgl. Abb. 20-4_{Arsen}, 20-6_{Eisen} und 20-7_{Mangan}). Die ermittelten HGW von z. B. 1,1 bis 3,2 µg/l für Arsen sowie 1,0 bis 2,6 mg/l für Eisen und 0,2 bis 0,3 mg/l für Mangan korrelieren mit den HGW im Grundwasser und überschreiten diese in der Regel nicht. Die höchsten Arsenkonzentrationen werden, wie erwartet, in den Halterner Sanden (BE 02M3) erreicht, die als Primärquelle für Arsen bekannt sind (BANNING & RÜDE & DÖLLING 2013). Darüber hinaus bilden Moorstandorte (organ. Substanzen) Schwermetallsenken, aus denen zugleich erhöhte Konzentrationen freigesetzt werden können (HUHLE 2013; KARCZEWSKA & KABALA 2001; ROTHWELL et al. 2007).

Nickel und Kobalt erreichen innerhalb der BE 02K2.1 (Tertiär) ihre höchsten HGW. Neben den zuvor beschriebenen Verhältnissen im TEZG der Ijsselmeerzuflüsse (Kap. 20.1; Moorstandorte und organisch geprägte Böden) können sowohl Nickel als auch Kobalt im oxidierten Bereich der Grafenberg-Formation (Tertiär) angereichert werden (BANNING & RÜDE 2010). Es wird vermutet, dass die gegenüber den umliegenden BE erhöhten HGW auf entsprechende Anreicherungen im Tertiär zurückzuführen sind. Auch im Grundwasser wurde für Nickel in den tertiärzeitlichen Sedimenten (HGC 02K2.1) mit der höchste HGW ermittelt (HGW Gw 2012).

Durch ihre hohe Affinität zu Tonmineralen und organischem Kohlenstoff reichern sich Kupfer und Vanadium verstärkt in Tonen und organischen Substanzen, aber auch an Mangan- und Eisenoxiden an (MERKEL & SPERLING 1998; ALLOWAY 1999; GUAGLIARDI et al. 2018) und können abhängig von den Randbedingungen mobilisiert werden. Grundlegend können somit im Bereich der tertiärzeitlichen tonigen Sedimente (BE 02K2.1 und 02M1_02K2.1) sowie in den Niederungen der quartärzeitlichen Lockergesteine (BE 02K1.3) erhöhte Kupferkonzentrationen auch in den Oberflächengewässern erwartet werden.

Die ermittelten HGW sowohl für Kupfer als auch für Vanadium in den tertiär- und quartärzeitlichen BE bestätigen sich jedoch bei Betrachtung der HGW im Grundwasser (HGW Gw 2012) oder auch konkreter Grundwassermessstellen (HygrisC) nicht. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Mobilisierung von Kupfer und Vanadium in der Bodenzone stattfindet. Andernfalls kann auch ein anthropogener Eintrag in

Betracht gezogen werden. Da bekannte anthropogene Punktquellen im Rahmen der Auswertungen ausgeschlossen wurden, sind hier vornehmlich diffuse Quellen als relevant einzustufen.

Im TEZG der Ijsselmeerzuflüsse ist die landwirtschaftliche Flächennutzung ein wichtiger Faktor (vgl. Kap. 20.1). Bereits im Rahmen des C&E-Projektes wurde ein anthropogener Kupfereintrag aus der Landwirtschaft in den Bereichen der Oberen Ems und der Ijsselmeerzuflüsse diskutiert (C&E 2011). Das daraus hervorgegangene Projekt zur Erkundung von Schwermetalleinträgen aus landwirtschaftlicher Flächennutzung mittels einer „Ursachenanalyse von Kupfer- und Zinkeinträgen im Einzugsgebiet der Ems (NRW)“ schlussfolgerte, dass der landwirtschaftliche Kupfer- und Zinkeintrag in die Oberflächengewässer gering sei (12 bzw. 14 % des Gesamteintrages) (TETZLAFF et al. 2013). Ein verstärkter, landwirtschaftlich bedingter Austrag von Schwermetallen (insbesondere Kupfer und Zink) aus den Böden in die Oberflächengewässer konnte im Rahmen des Projektes nicht großräumig bestätigt, auf kleinräumiger Ebene aber auch nicht ausgeschlossen werden. ENGELBERG (2019) vermutet, dass die Freisetzung der Metalle vor allem in moorigen Bereichen der Ijsselmeerzuflüsse der anthropogenen Degradierung der Böden geschuldet ist.

Die Identifizierung/Quantifizierung einer diffusen anthropogenen Komponente durch landwirtschaftliche (Kupfer-)Einträge ist jedoch auch im Rahmen des Projektvorhabens nur bedingt möglich und unmittelbar abhängig von den vorliegenden Eingangsdaten. Im Zusammenhang mit der entwickelten Methodik wird vorausgesetzt, dass ‚unbeeinflusste‘ Messwerte in die Auswertung einfließen, um auf deren Basis die Normalpopulation identifizieren zu können. Ist dies nicht der Fall, kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Ergebnis diffus überprägt ist, vor allem wenn keine vergleichbaren Konzentrationen im Grundwasser oder den Böden vorliegen. Folglich kann im Fall der Ijsselmeerzuflüsse für die ermittelten Kupfer-HGW keine endgültige Einschätzung erfolgen. So sind zwar natürlich erhöhte Konzentrationen geochemisch gesehen möglich, durch die intensive, flächendeckende landwirtschaftliche Nutzung, einhergehend mit fehlenden Vergleichswerten in Grundwasser und Böden, kann aber auch eine anthropogene Überprägung der Oberflächengewässer für Kupfer nicht ausgeschlossen werden.

Anders als Kupfer wird Vanadium in der Regel nicht durch die Landwirtschaft in die Umwelt eingetragen (LANUV & MKULNV 2017). Die Anreicherungen in den organik- und eisenreichen sowie tonigen Sedimenten und Böden scheint in natürlichen Prozessen begründet zu liegen. Bezüglich möglicher Mobilisierung durch Umnutzungen oder auch Abtorfungen an Moorstandorten kann im Rahmen des Projektes jedoch keine Aussage getroffen werden.

Überwiegend im Quartär und Tertiär des TEZG sowie im Buntsandstein (tonig-salinar) werden für Barium erhöhte HGW ermittelt (HGW zwischen knapp 76 und 86 µg/l und bei 100 µg/l; Tab. 20-2). Maßgebend für den Bariumgehalt in den Gesteinen sind dabei vorhandene Feldspäte und Glimmer (FISCHER & PUCHELT 1974). Während (Tiefsee-)Tone grundlegend höhere Bariumgehalte aufweisen (750 bis 4000 mg/kg; WEDEPOHL 1960), schwanken die Werte in sandigen Sedimenten/Sandsteinen je nach Zusammensetzung der Gesteine (z. B. Sandsteine und Grauwacken zwischen 5 und 900 mg/kg; FISCHER & PUCHELT 1974). Mit HGW von 153 µg/l (Buntsandstein) bis zu 167 µg/l (Quartär) lassen sich auch im Grundwasser erhöhte Bariumkonzentrationen nachweisen (HGW Gw 2012).

Tab. 20-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Ijsselmeerzuflüsse									
		(Ost) 02K1.3	(West) 02K1.3	02K2.1	02M1 02K2.1	02M3	(Ost) 02M4	(West) 02M4	05M4.4	05M5.6	05M5.7
Ag	n > BG	19	19								
	50. P.	0,002	0,002								
	90. P.	0,011	0,011	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,064	0,064								
As	n > BG	106	106	14	16	14	20	23	8		9
	50. P.	0,9	0,9	0,8	1,0	0,7	0,4	1,1	0,7		0,5
	90. P.	1,5	1,5	1,1	1,6	3,2	1,2	1,8	1,3	n.a.	0,8
	Max. N.	1,9	1,9	1,1	1,8	4,6	1,9	2,3	1,4		0,7
B	n > BG	98	98	13	7	8	50	50	8		9
	50. P.	52,3	52,3	49,8	46,6	25,0	30,8	30,8	17,0		10,0
	90. P.	80,2	80,2	72,1	67,7	36,4	76,1	76,1	75,9	n.a.	40,5
	Max. N.	120,0	120,0	89,0	70,0	43,0	140,0	140,0	167,0		64,0
Ba	n > BG	102	102	15	14	13	37	14	14		11
	50. P.	41,5	41,5	59,9	49,4	37,2	17,0	53,3	32,5		65,7
	90. P.	75,7	75,7	79,1	86,5	66,2	31,8	64,0	53,2	n.a.	100,1
	Max. N.	120,0	120,0	88,0	90,0	82,0	57,0	66,0	58,0		110,0
Be	n > BG	28	28	13	12		8	8		8	
	50. P.	0,02	0,02	0,08	0,03		0,01	0,01		0,03	
	90. P.	0,07	0,07	0,14	0,07	n.a.	0,04	0,04	n.a.	0,13	n.a.
	Max. N.	0,21	0,21	0,14	0,08		0,12	0,12		0,18	
Cd	n > BG	26	24	16	17	14	43	43	7	12	
	50. P.	0,03	0,03	0,16	0,06	0,05	0,02	0,02	0,04	0,07	
	90. P.	0,05	0,13	0,29	0,14	0,12	0,08	0,08	0,09	0,24	n.a.
	Max. N.	0,05	0,26	0,32	0,26	0,12	0,15	0,15	0,08	0,31	
Co	n > BG	72	72	14	17	12	30	30	7	12	
	50. P.	0,4	0,4	0,9	0,7	0,5	0,1	0,1	0,3	0,2	
	90. P.	0,7	0,7	3,6	1,1	1,7	0,8	0,8	0,8	0,8	n.a.
	Max. N.	1,3	1,3	4,8	0,9	2,8	0,5	0,5	0,9	1,4	
Cr	n > BG	19	20	7	7	9	17	17			
	50. P.	0,3	0,5	0,9	0,5	0,5	0,3	0,3			
	90. P.	1,0	1,0	1,7	1,3	1,1	0,8	0,8	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,5	1,1	2,1	2,0	1,2	0,9	0,9			
Cu	n > BG	223	223	30	16	41	109	109	12	40	56
	50. P.	2,9	2,9	3,8	4,5	2,0	2,1	2,1	1,9	0,8	1,0
	90. P.	5,5	5,5	6,7	7,3	3,3	3,2	3,2	5,1	1,8	3,6
	Max. N.	11,0	11,0	9,3	8,5	4,0	3,5	3,5	7,0	3,3	11,1
Fe	n > BG	44	58	18	15	16	43	20	9	11	8
	50. P.	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,0	0,4	0,4	0,2	0,2
	90. P.	0,5	1,0	1,2	1,4	2,6	0,2	1,1	1,8	0,4	0,4
	Max. N.	0,6	1,3	1,4	1,9	3,9	1,1	1,9	2,5	0,4	0,4
Hg	n > BG	8	8	5							
	50. P.	0,001	0,001	0,005							
	90. P.	0,005	0,005	0,008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,018	0,018	0,008							

Fortsetzung von Tabelle 20-2

Parameter	Kennwert	Ijsselmeerzuflüsse									
		(Ost) 02K1.3	(West) 02K1.3	02K2.1	02M1 02K2.1	02M3	(Ost) 02M4	(West) 02M4	05M4.4	05M5.6	05M5.7
Mn	n > BG	37	17	12		8	6	18	9	10	9
	50. P.	75,2	114,6	78,7		84,1	5,3	80,8	13,9	36,7	0,3
	90. P.	181,6	319,9	257,1	n.a.	262,7	29,9	164,8	255,4	79,3	24,5
	Max. N.	220,0	250,0	330,0		340,0	100,0	240,0	783,0	110,0	572,0
Mo	n > BG	20	27	15	11	10	10	9	11		
	50. P.	0,4	0,5	0,7	0,6	0,2	0,2	0,5	0,3		
	90. P.	0,7	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	0,8	1,1	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,0	0,7	1,0	0,9	1,1	0,8	0,8	1,4		
Ni	n > BG	39	34	10	11	13	36	36	8	10	
	50. P.	2,9	3,7	8,3	4,3	2,3	2,1	2,1	2,1	1,4	
	90. P.	4,8	7,3	17,7	6,4	5,5	5,9	5,9	4,5	3,7	n.a.
	Max. N.	6,6	8,8	22,0	6,6	5,1	12,0	12,0	6,1	5,4	
Pb	n > BG	72	72	25	11	10	32	32	9		
	50. P.	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6		
	90. P.	0,9	0,9	0,9	0,9	0,4	0,9	0,9	2,5	n.a.	n.a.
	Max. N.	2,2	2,2	1,6	1,3	0,4	2,0	2,0	2,8		
Se	n > BG	22	22	6			17	17			
	50. P.	0,2	0,2	0,2			0,4	0,4			
	90. P.	0,6	0,6	0,6	n.a.	n.a.	0,9	0,9	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,5	1,5	1,2			1,8	1,8			
SO ₄	n > BG	38	39	27	12	13	46	21	13	12	11
	50. P.	58,0	66,1	54,7	57,4	44,0	40,4	48,2	59,2	30,3	53,4
	90. P.	77,7	101,3	76,9	75,7	65,9	55,2	72,7	101,9	45,4	141,2
	Max. N.	87,0	129,0	90,8	83,0	66,1	70,4	90,0	118,0	52,0	159,7
Ti	n > BG										
	50. P.										
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tl	n > BG	38	38	14	12	12	12	12		7	
	50. P.	0,01	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01		0,01	
	90. P.	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	n.a.	0,02	n.a.
	Max. N.	0,05	0,05	0,06	0,05	0,03	0,04	0,04		0,03	
U	n > BG	54	54	17		28	54	54	11	18	44
	50. P.	0,52	0,52	0,25		0,19	0,38	0,38	0,22	0,07	0,45
	90. P.	0,88	0,88	0,80	n.a.	0,69	0,93	0,93	0,56	1,05	1,39
	Max. N.	1,20	1,20	0,80		1,20	2,00	2,00	0,46	1,30	3,60
V	n > BG	76	76	15	14	12	40	40	6	8	9
	50. P.	1,3	1,3	2,0	1,9	1,6	1,4	1,4	0,8	0,4	0,9
	90. P.	2,2	2,2	4,8	3,4	2,7	3,1	3,1	1,4	1,1	1,5
	Max. N.	3,1	3,1	7,1	2,7	2,6	4,6	4,6	1,6	1,8	1,3
Zn	n > BG	86	86	16	17	11	103	103	14		34
	50. P.	7,1	7,1	14,5	10,3	11,9	8,2	8,2	14,2		3,7
	90. P.	15,1	15,1	33,2	26,8	21,1	15,5	15,5	35,7	n.a.	10,1
	Max. N.	23,0	23,0	43,0	32,0	21,0	22,0	22,0	41,0		11,0

Die Mobilität von Barium wird durch das Vorhandensein von Sulfat begrenzt (Bildung des schwerlöslichen Bariumsulfats). PUCHELT (1967) hält fest, dass Sulfat z. B. unter Anwesenheit organischer Substanzen durch bakterielle Reduktion entfernt und damit die Mobilität von Barium erhöht wird. Moorige Standorte können sich somit ebenfalls durch erhöhte Bariumkonzentrationen auszeichnen (z. B. in Bereichen der BE 02K1.3, 02K2.1 und 02M3).

Es ist bekannt, dass in den Schichten des Doggers sowohl Toneisensteinlagen und Eisenoolithe als auch Pyriteinlagerungen präsent sind (GD NRW 2003), die Einfluss auf die natürliche Beschaffenheit der Gewässer nehmen können (z. B. Eisen- und Mangankonzentrationen). Wie in Kapitel 20.2 beschrieben, wurde die BE des Doggers (05M4.4) TEZG-übergreifend in ihrer gesamten HGC ausgewertet. Da die BE 05M4.4 im TEZG der Weser ihre größte Ausdehnung aufweist, werden die Ergebnisse der Auswertungen in Kapitel 29.3 näher behandelt.

Für Silber konnten in den meisten Fällen (s. Tab. 20-2) keine HGW abgeleitet werden, da der Großteil der Datensätze unterhalb der BG lag und nur eine unzureichende Anzahl (hier < 5) an Eingangswerten Konzentrationen oberhalb der BG erreichten.

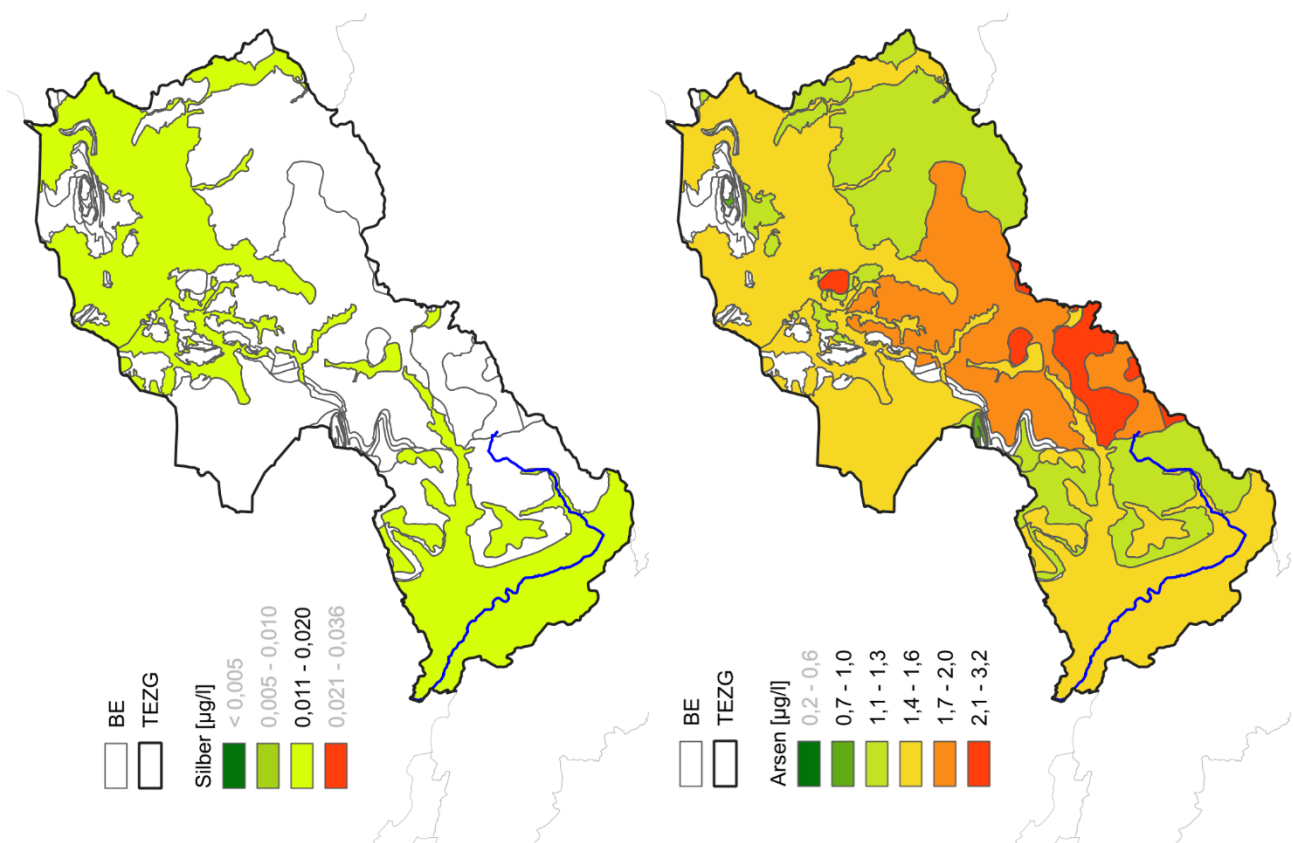


Abb. 20-4: HGW_{ges} für Silber und Arsen in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse

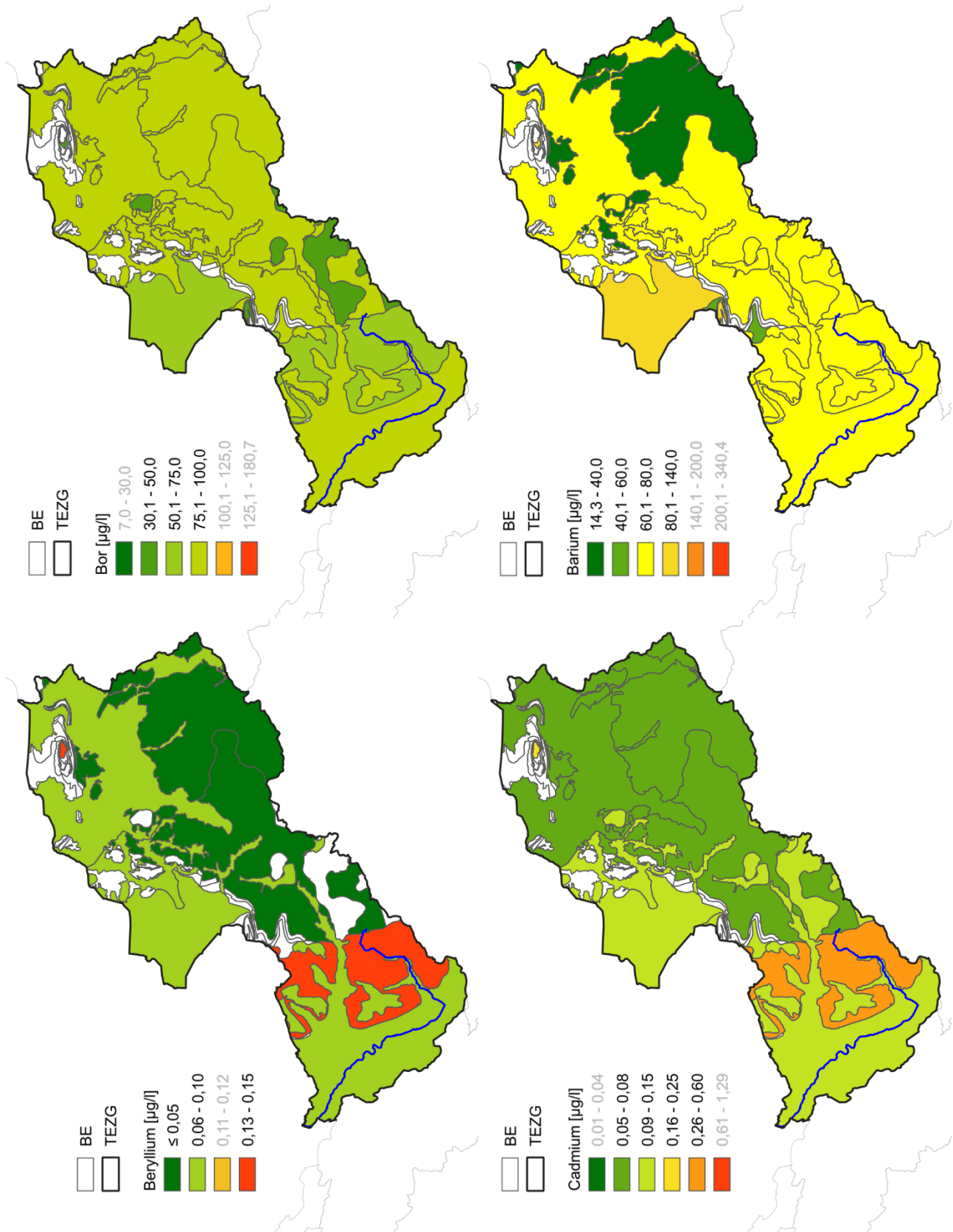


Abb. 20-5: HGW_{ges} für Bor, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse

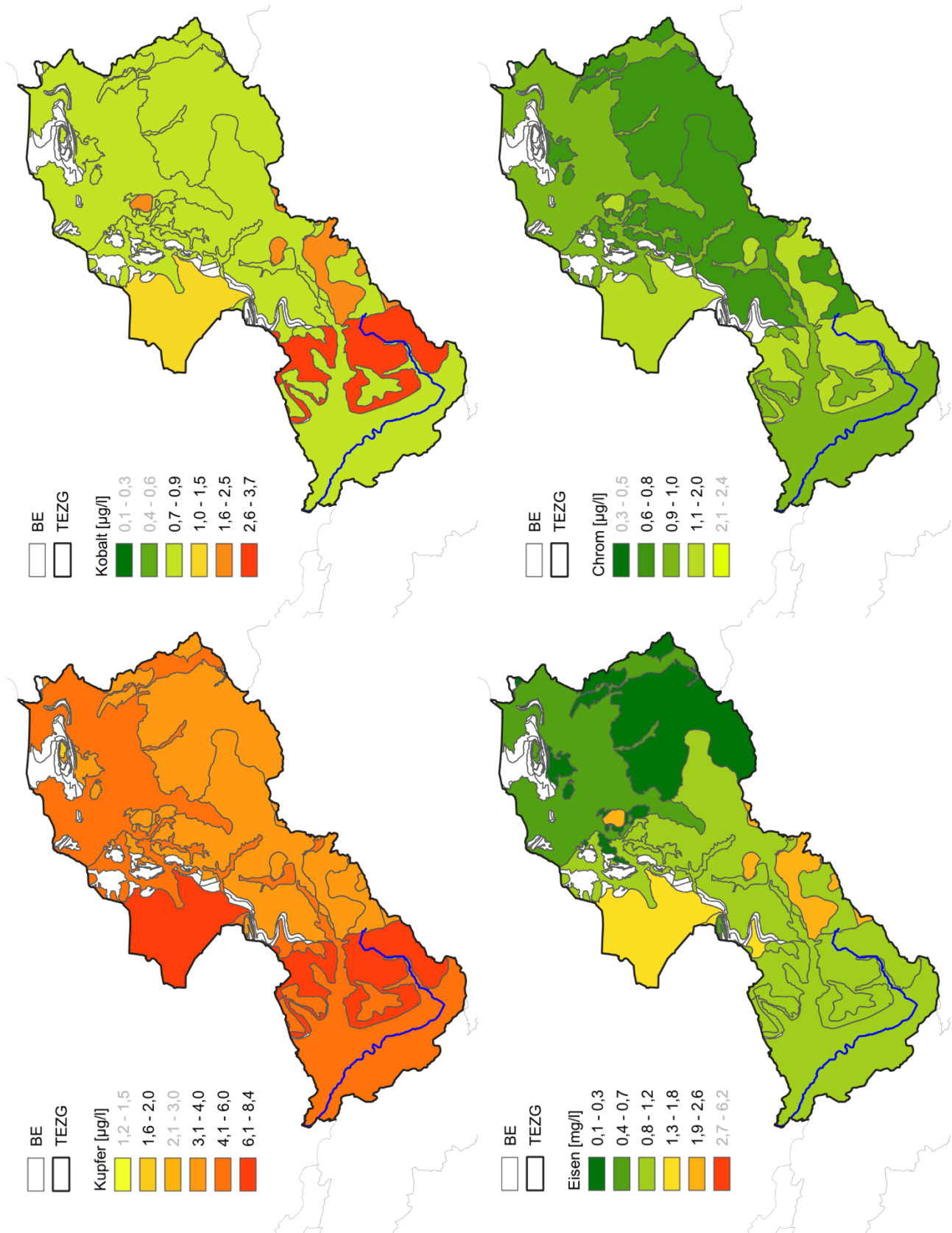


Abb. 20-6: HGW_{ges} für Kobalt, Chrom, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse

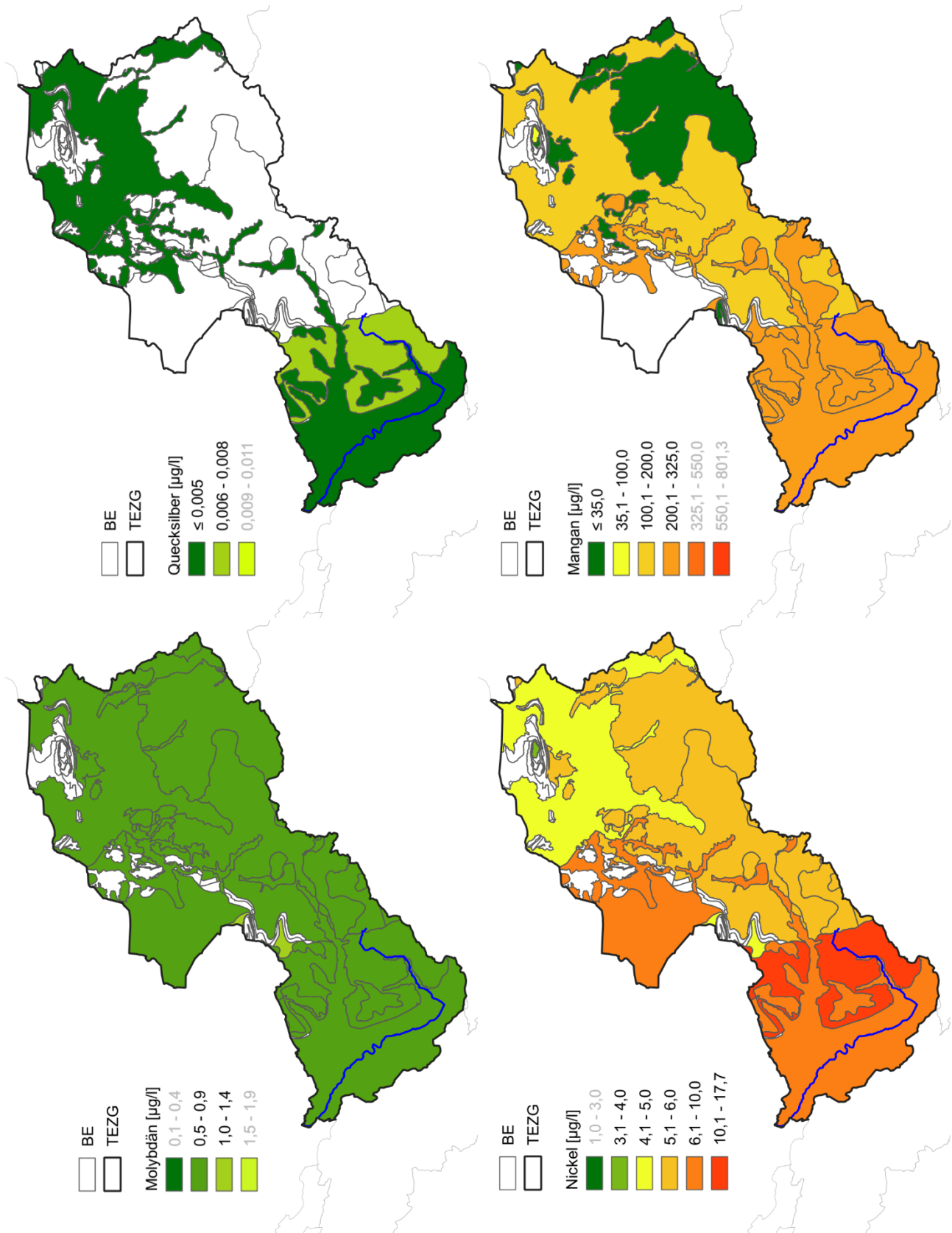


Abb. 20-7: HGW_{ges} für Quecksilber, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse

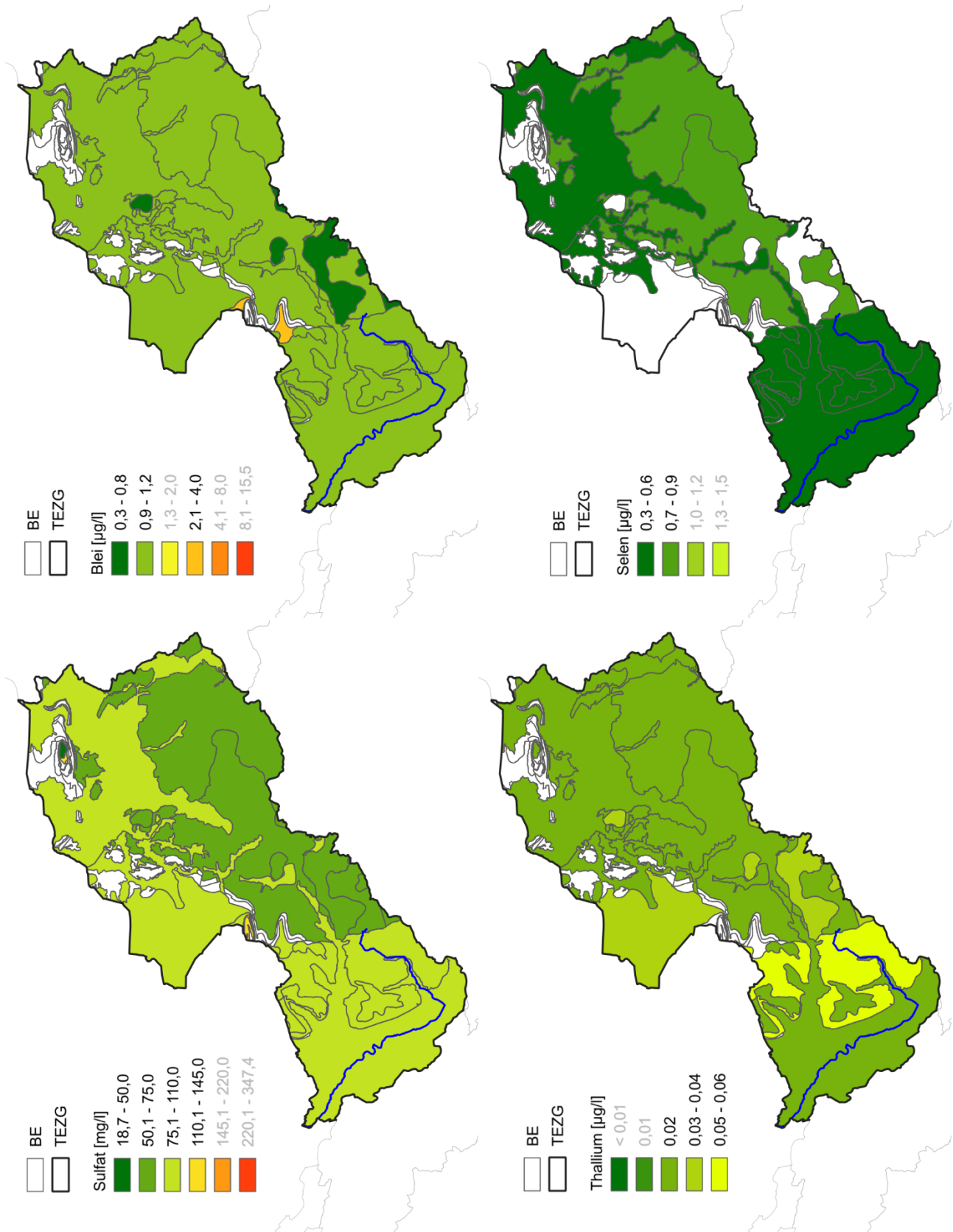


Abb. 20-8: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse

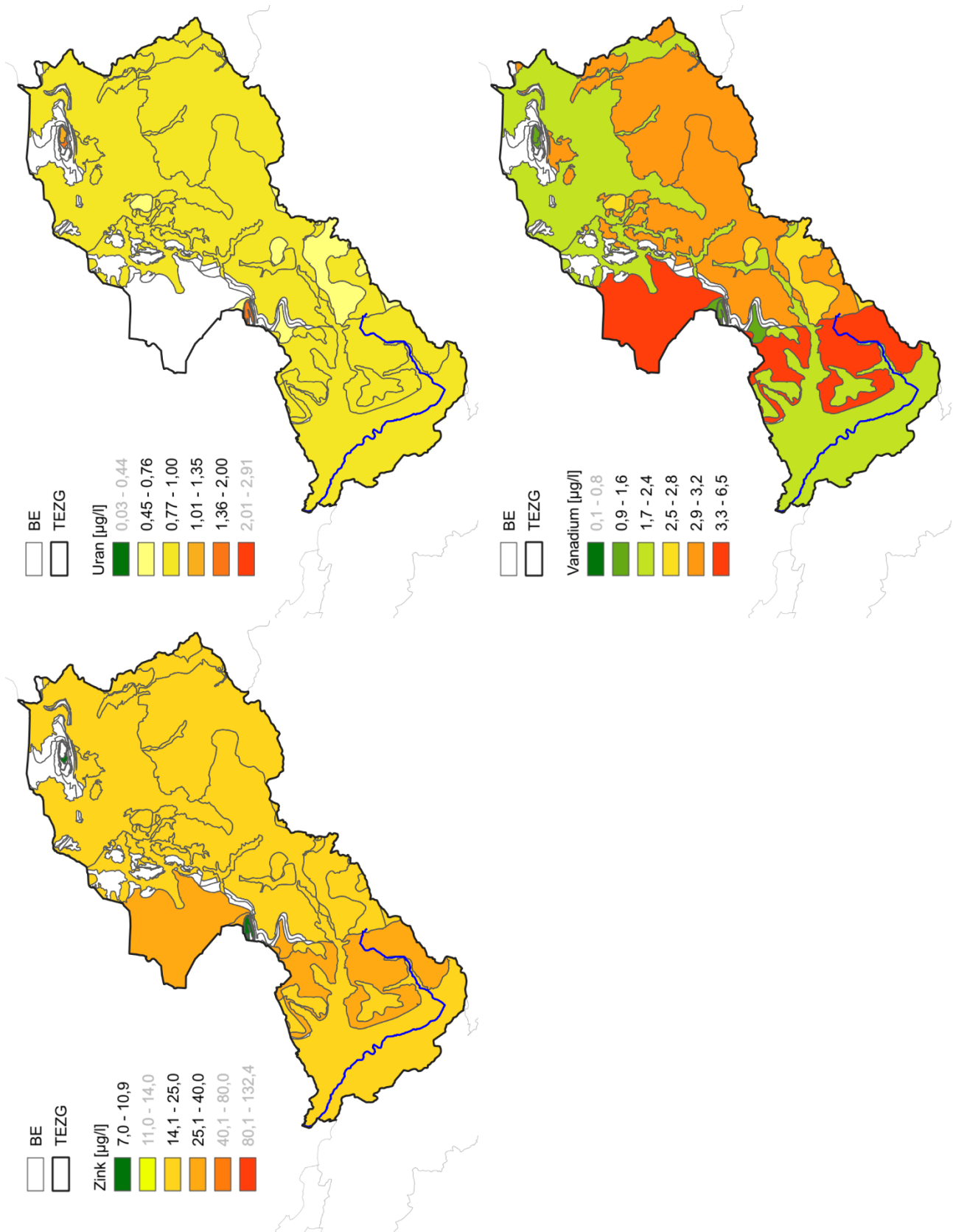


Abb. 20-9: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Ijsselmeerzuflüsse

21 Lippe

21.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Lippe erstreckt sich über knapp 4 882 km² (EGLV b). Es fällt zum Großteil in den Großraum der Westfälischen Bucht und umfasst die Hellwegbörden sowie südliche Teile des West-, Ost- und Kernmünsterlandes. In der Abbildung 21-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 21-2 zeigt seine geologischen Verhältnisse.

In südliche (Haarstrang) bzw. (süd-)östliche Richtung steigt das Gelände zunehmend an (Abb. 21-1) und greift über die Paderborner Hochfläche bis in Bereiche des Eggegebirges sowie des Sauer- und Siegerlandes (Hochsauerlandkreis) hinein. Im Westen reicht das TEZG bis in das Niederrheinische Tiefland (Teile der Niederrheinischen Sandplatten). Somit werden innerhalb des TEZG maximale Höhen von 500 m ü. NHN (Hochsauerlandkreis) bzw. 450 m ü. NHN (Eggegebirge) erreicht. Im Flachland sinkt das Gelände von 80 m ü. NHN (Lippstadt) auf rund 40 m ü. NHN (bei Wesel) ab (WMS DTK 100).

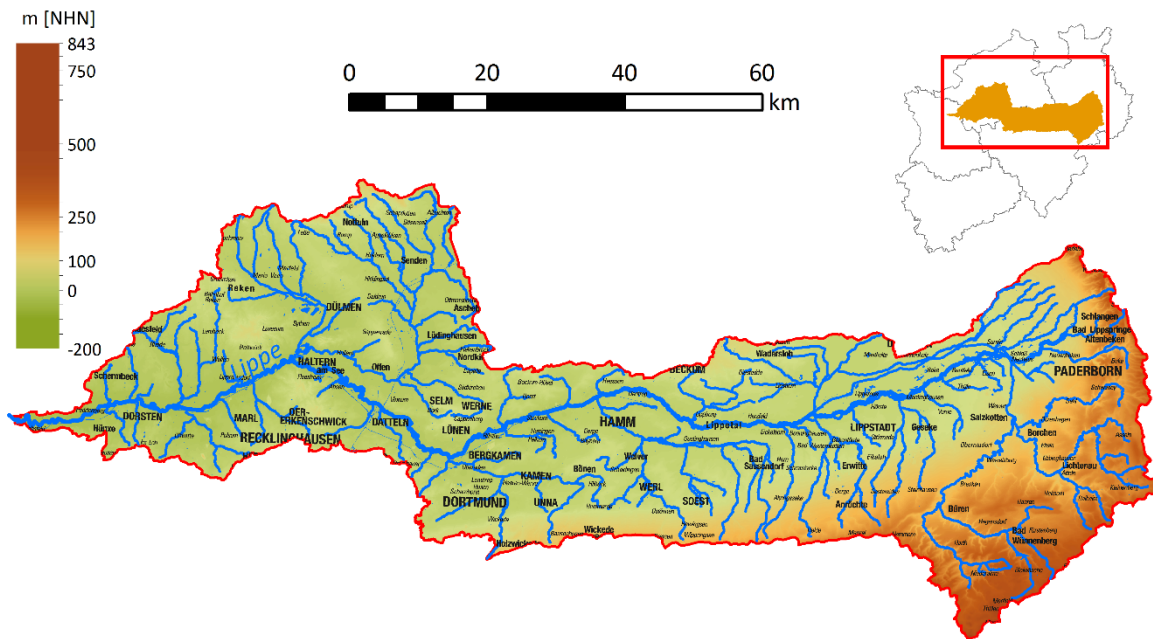


Abb. 21-1: TEZG Lippe

Die Lippe gilt als Flachlandfluss (mittleres Gefälle 0,5 ‰; EGLV b) und fließt näherungsweise in einem Ost-West-Verlauf von Bad Lippspringe im Westen des Eggegebirges bis nach Wesel, wo sie in den Rhein mündet. Die Lippe wird in ihrem Verlauf durch zahlreiche Gewässer aus Norden und Süden gespeist. Wichtige Zuflüsse in ihrem Oberlauf bilden die Alme und die Glenne sowie die aus Karstquellen gespeiste Pader und die Heder. Im mittleren Abschnitt fließen aus Süden Ahse und Seseke hinzu und in ihrem unteren Abschnitt mündet die Stever in die Lippe. Das Abflussgeschehen im TEZG der Lippe wird unter anderem durch Rückstaubauwerke, Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren (diese dienen jedoch vorwiegend der Trinkwassergewinnung) reguliert (MULNV 2005 c).

Prägend für das TEZG sind der Steinkohleabbau und die damit verbundenen Grubenwassereinleitungen. Mit rund 48 % Ackerflächen an der Gesamtfläche fällt auch der Landwirtschaft eine bedeutende Rolle im TEZG der Lippe zu (MULNV 2005 c).

Geologie/Hydrogeologie

Das TEZG der Lippe wird maßgeblich durch mächtige Sedimentfolgen des Münsterländer Kreide-Beckens sowie quartärzeitliche Ablagerungen des Sandmünsterlandes geprägt (Abb. 21-2). Die Sedimente des Quartärs erreichen in den Bereichen der Lippe-Niederungen sowie im Gebiet der Senne ihre größten Mächtigkeiten (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Lateral keilen die Terrassensedimente aus, sodass flach lagernde Kreide-Schichten an die Oberfläche treten (GD NRW 2015). Als Grundwassergeringleiter trennen die Mergel- und Tonmergelsteine der Emscher-Formation in vielen Bereichen den quartärzeitlichen (und im Westen auch kreidezeitlichen) Porengrundwasserleiter vom tiefen kreidezeitlichen Kluftgrundwasserleiter (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Verwerfungen können lokal Wasserwegsamkeiten entstehen lassen, sodass dennoch eine hydraulische Verbindung beider Grundwasserleiter bestehen kann (GLA 1995).

Zum Randbereich des Münsterländer Kreide-Beckens im Süden und Südosten des TEZG sind die Festgesteine der Ober- und Unterkreide herausgehoben und bilden die Erhebungen des Haarstrangs und der Paderborner Hochfläche sowie Teile des Eggegebirges. Die Kalk- und Kalkmergelsteine der Oberkreide (Paderborner Hochfläche, Hellweg) sind verkarstet und entwässern nach Norden bzw. Nordwesten in die Westfälische Quellenlinie (GLA 1995). Durch Zutritte von Tiefenwässern aus dem Münsterländer Kreide-Becken (Sole) zeichnen sich einzelne Karstquellen durch erhöhte Salzkonzentrationen aus (z. B. Sültsoid bei Salzkotten – MICHEL & ADAMS & SCHOLLMAYER 1998; Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). In anderen Fällen, wie beispielsweise östlich von Bad Lippspringe, treten aus tiefer liegenden Gesteinen artesisch thermale, hochmineralisierte Wässer über Störungszonen zutage (MICHEL & ADAMS & SCHOLLMAYER 1998).

In ihrem südlichen Teil schließt die Paderborner Hochfläche an nördliche Ausläufer des Rheinischen Schiefergebirges an. Die karbonischen Ton- und Sandsteine sowie devonischen Massenkalk (Briener Riffkomplex) reichen nach Südwesten bis in das TEZG der Ruhr hinein (IS GK 100).

Im Westen des TEZG sind die Sedimente der Kreide in sandiger bzw. sandmergeliger Fazies ausgeprägt. Wie schon im TEZG der Ijsselmeerzuflüsse ist hier der ergiebige, wasserwirtschaftlich bedeutsame Grundwasserleiter der Haltern-Formation ausgebildet (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Am Übergang von der Westfälischen Bucht in das Niederrheinische Tiefland setzen sich die tertiärzeitlichen Lockergesteine der Niederrheinischen Sandplatten vom TEZG der Ijsselmeerzuflüsse bis in das TEZG der Lippe fort. Die oligozänen, marinen Ratingen- und Lintfort-Subformationen (Rupel-Formation) sind tonig, schluffig bis sandig sowie zum Teil glaukonitisch ausgebildet (IS GK 100). Sie bedecken die Feinsande der Walsum-Subformation (Rupel-Formation), die am Übergang Kreide/Tertiär austreichen und einen nach Westen einfallenden Grundwasserleiter bilden.

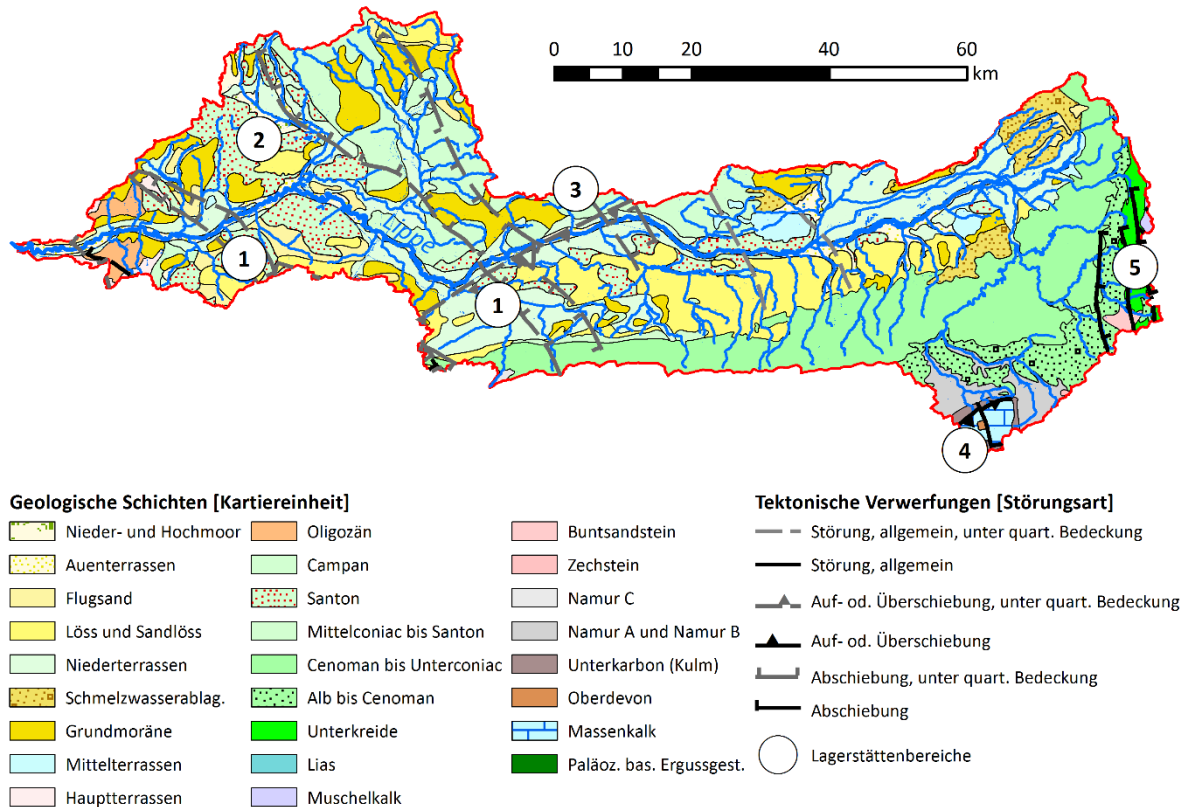


Abb. 21-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Lippe

Das Gewässernetz weist in weiten Teilen des TEZG Anschluss an das Grundwasser auf. Ausschließlich in den verkarsteten Festgesteinsbereichen des Hellwegs, der Paderborner Hochfläche und dem Eggegebirge sowie den Ausläufern des Rheinischen Schiefergebirges besteht kein Grundwasseranschluss. Hier führen die Gewässer nur episodisch Wasser (LANUV 2016 d; BR Arnsberg 2015).

Lagerstätten und Mineralisation

Das **Niederrheinisch-Westfälische Steinkohlengebiet** (Abb. 21-2 im Bereich der Markierung 1) greift von Südwesten aus in das TEZG der Lippe hinein und taucht nach Norden hin ab. Entlang zahlreicher Nordwest – Südost streichender Verwerfungen kam es durch Aufstiege hydrothormaler Lösungen zur Ausbildung von Erzmineralen (z. B. Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz, Pyrit) und Gangmineralisationen (z. B. Baryt), die den Störungen des Steinkohlengebietes aufsitzen (PILGER 1961). Verleihungen auf Blei und Zink im Bereich von Marl sowie auf Eisenstein und Schwefel bei Dortmund weisen ebenfalls auf die Erzvorkommen im Untergrund hin (STORK & BACHMANN & HOYER 1973; HESEMANN & KNEUPER & PILGER 1955/56). Im TEZG der Lippe sind die Erzgänge jedoch durch das Deckgebirge der Kreide zur Gänze bedeckt (PILGER 1961; GLA 1995).

Das auf Raseneisenstein verliehene Bergwerksfeld **„Fürstlich Salm Salm’sches Regal“** (Abb. 21-2: Markierung 2) erstreckt sich vom TEZG der Ijsselmerzuflüsse bis in den Nordwesten der Lippe. Somit sind auch hier erhöhte geogene Arsenkonzentrationen möglich (Raseneisenerz = sekundäre Quelle)

(BANNING & RÜDE & DÖLLING 2013). Die Sande der Haltern- und der Dülmen-Formation, ebenfalls im Nordwesten des TEZG, können eine primäre geogene Quelle für Arsen bilden. Nachweise erhöhter geogener Gehalte sind beispielsweise in den Böden der Heubachniederungen (BANNING & COLDEWEY & GÖBEL 2007) nordöstlich von Reken zu finden.

Im TEZG der Oberen Ems sind in die Kalkmergelsteine der Oberkreide (Campan) **Strontianitgänge** eingeschaltet (GLA 1995). Diese reichen in ihren Ausläufern bis in den Norden des TEZG Lippe hinein (Abb. 21-2: Markierung 3). OTTO (1846) merkt an, dass Strontiumverbindungen häufig von Bariumverbindungen begleitet werden (s. Kap. 30.3).

In Grundwasseranalysen des östlichen Münsterlandes werden die Bor-Grenzwerte der TrinkwV (1 mg/l; TrinkwV 2001) mitunter deutlich überschritten. In den Ausarbeitungen von WISOTZKY & DROSTE & BANNING (2017) wurden in diesem Zusammenhang sediment- und hydrochemische Daten der **Emscher-Formation** zusammengestellt und in Bezug zueinander gesetzt. Auch wenn die Herkunft des Bors anhand der Ausarbeitungen noch nicht zur Gänze geklärt werden konnte, wird von einer geogenen Ursache für die erhöhten Konzentrationen ausgegangen (WISOTZKY & DROSTE & BANNING 2017).

Im Bereich des **Briloner Riffkomplexes/Massenkalks** (Abb. 21-2: Markierung 4) liegen an Störungen gebundene Vererzungen vor, deren Entstehung tektonischen Bewegungen im Tertiär zugeschrieben wird. Bei den Vererzungen handelt es sich überwiegend um Galmeierze (GD NRW 2017). Es konnten aber auch Bleiglanz, Schalenblende, Eisenerz (Schwefelkies, Brauneisenstein), vereinzelt Kupfererz (z. B. Buntmetallmineralisation im ‚Malachitdom‘; GLA 1992) sowie Baryt (v. a. im Raum der Ortschaft Bleiwäsche) nachgewiesen werden (SCHRIEL 1954). Tagesöffnungen und Stollenmundlöcher zeugen von bergbaulicher Aktivität innerhalb des Briloner-Galmei-Distrikts (IS GDU).

Im Übergang der Lippe zum TEZG der Weser sind im Bereich des **Eggegebirges** Sedimente der Unterkreide aufgeschlossen (Abb. 21-2: Markierung 5). SPEETZEN (2010) hält für den Osning-Sandstein sowie den Gault-Sandstein fest, dass lokal erhöhte Gehalte von Chrom, Vanadium, Zink und Blei auf eine Erzkomponente hinweisen können.

21.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 21-3 und Tabelle 21-1 wird ein Überblick über die im TEZG Lippe abgegrenzten BE gegeben.

Für einzelne Parameter wurden die BE 02K1.3 (Quartär), 02M4 und 02M5 (Oberkreide) räumlich differenziert (Abb. 21-3, Tab. 21-1). Auslöser für die jeweilige Differenzierung der BE waren Teilpopulationen, die sich bei der Auswertung im Wahrscheinlichkeitsnetz gezeigt haben und die sich im GIS räumlich abgrenzen ließen. Dabei konnten Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Teilpopulationen und Veränderungen in der Ausbildung der Sedimente bzw. dem Anströmungsgebiet der Gewässer erkannt werden, wie den verkarsteten Bereichen im Süden und (Süd-)Osten des TEZG (BE Karst_02M4) oder der sandigen Fazies der Haltern-Formation (BE West_02M4) im Westen. Somit basiert die Aufspaltung in Ost-/West-/...-Bereiche auf geologischen/geochemischen Kriterien.

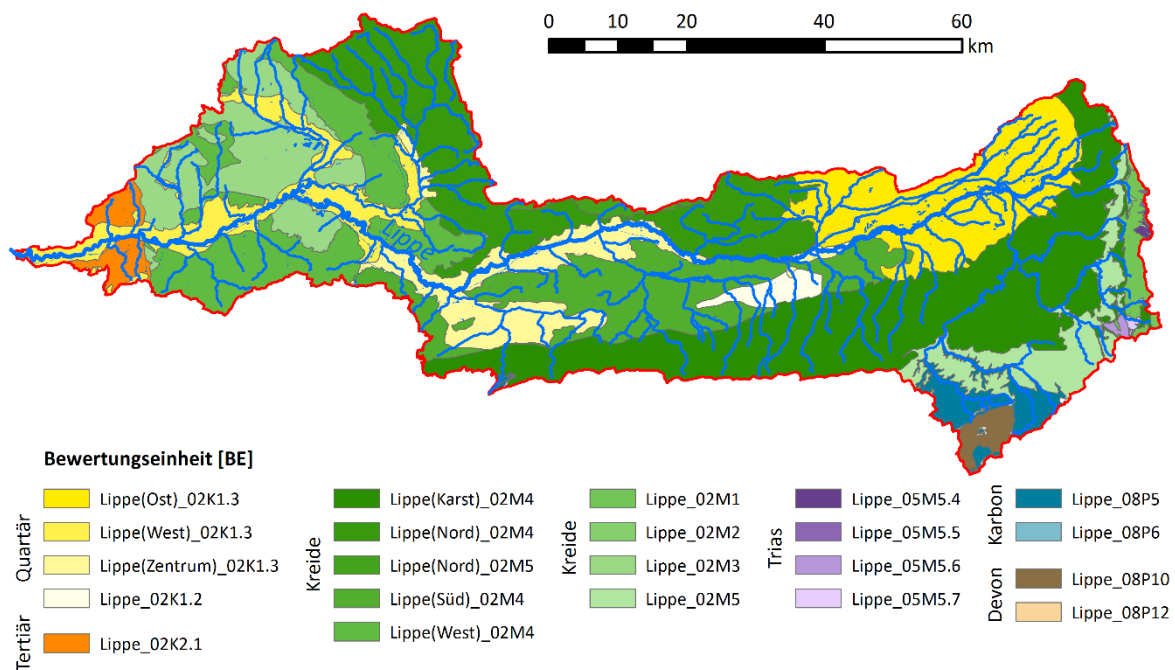


Abb. 21-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Lippe

In den BE 02M2, 05M5.4, 05M5.5, 08P12 und 08P6 lagen nicht ausreichend Messstellen vor, sodass keine Auswertung durchgeführt werden konnte. Die Einheiten 02M3, 02M5, 05M5.6, 05M5.7 sowie 08P10 und 08P5 wiesen ebenfalls eine geringe Anzahl an Eingangsdaten auf. Da die Schichten aber bis in angrenzende TEZG greifen, konnten sie mit entsprechenden BE aus den TEZG Obere Ems, Weser, Diemel sowie Ruhr zusammengeschlossen werden, sodass oftmals ausreichend Datensätze für eine Auswertung vorlagen. Im Fall der silikatischen Oberkreide (02M3) sowie den BE des Buntsandsteins (05M5.6 und 05M5.7) wurden alle BE der jeweiligen HGC gemeinsam ausgewertet.

Tab. 21-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Lippe

Lippe_		Fläche [km²]
02K1.2	quartäre Schluffe (Löss)	52,2
(Ost)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	521,5
(West)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	296,2
(Zentrum)_02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	331,1
02K2.1	tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe (ohne Bk), östlicher Niederrhein	76,0
02M1	Unterkreide, silikatisch	59,8
02M2	Unterkreide, silikatisch/karbonatisch	4,8
02M3	Oberkreide, silikatisch	382,6
(Karst)_02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	1 041,2
(Nord)_02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	686,2
(Süd)_02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	494,7
(West)_02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	493,3
(Nord)_02M5	Oberkreide, karbonatisch	34,9
02M5	Oberkreide, karbonatisch	226,7
05M5.4	Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	4,5
05M5.5	Mittlerer Muschelkalk, salinar	1,8
05M5.6	Buntsandstein	7,5
05M5.7	Buntsandstein, tonig-salinar	3,9
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	118,0
08P6	karbonische Schiefer, karbonatisch	2,8
08P10	paläozoische Karbonate	42,1
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	1,6

21.3 Ergebnisse

In Tabelle 21-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 21-4 bis 21-9 in Karten dargestellt.

Werden die ermittelten HGW in Bezug zu den jeweiligen Beurteilungswerten gesetzt, heben sich besonders im Westen das Tertiär (BE 02K2.1) und die silikatische Oberkreide (BE 02M3 – Haltern-Formation) hervor. Des Weiteren liegen Barium, Kupfer, Mangan und Uran nahezu flächendeckend über den jeweiligen Beurteilungswerten.

Die erhöhten Borkonzentrationen in den nördlich gelegenen BE der Oberkreide (> 100 µg/l) können in Zusammenhang mit den Tonmergeln der Emscher-Formation gesetzt werden (Kreis Warendorf 2010; WISOTZKY & DROSTE & BANNING 2017), die auch im TEZG der Oberen Ems Einfluss auf die natürliche Beschaffenheit der Oberflächengewässer zu nehmen scheinen (vgl. Kap. 30). Betrachtungen der durchschnittlichen Borkonzentrationen (2000 – 2018) in den Grundwassermessstellen in HygrisC bestätigen die räumliche Differenzierung und zeigen im Norden deutlich höhere Konzentrationen (bis zu 1 000 µg/l) als im Süden des TEZG Lippe (zwischen 10 und 200 µg/l) auf.



Tab. 21-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Lippe															
		02K1.2	(Ost) 02K1.3	(West) 02K1.3	(Zentrum) 02K1.3	02K2.1	02M1	02M3	(Karst) 02M4	(Nord) 02M4	(Süd) 02M4	(West) 02M4	02M5	(Nord) 02M5	05M5.6	05M5.7	08P5
Ag	n > BG		14	14	14					9	9	9					
	50. P.		0,001	0,001	0,001					0,002	0,002	0,002					
	90. P.	n.a.	0,008	0,008	0,008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,007	0,007	0,007	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.		0,088	0,088	0,088					0,024	0,024	0,024					
As	n > BG	11	61	18	61	10		14	12	46	46	8	6	50	13	9	19
	50. P.	0,6	0,5	1,3	0,5	0,9		0,7	0,2	0,5	0,5	0,9	0,1	0,6	0,8	0,5	0,3
	90. P.	0,9	1,3	2,4	1,3	1,2	n.a.	3,2	0,3	1,1	1,1	1,7	0,4	1,2	1,4	0,8	0,6
	Max. N.	0,9	2,1	3,3	2,1	1,0		4,6	0,4	2,0	2,0	2,1	0,8	1,7	1,6	0,7	0,7
B	n > BG		22	21	25	11		8	42	75	24	15		44		9	
	50. P.		14,7	24,2	42,9	47,8		25,0	8,8	53,7	29,3	31,2		83,1		10,0	
	90. P.	n.a.	34,1	59,2	82,7	62,8	n.a.	36,4	34,2	104,3	49,6	78,3	n.a.	159,2	n.a.	40,5	n.a.
	Max. N.		83,0	57,0	105,0	64,0		43,0	40,0	200,0	70,0	130,0		200,0		64,0	
Ba	n > BG	12	59	28	59	12	9	13	31	115	115	115	15	44	8	11	34
	50. P.	78,4	56,4	30,7	56,4	40,7	44,8	37,2	47,1	42,8	42,8	42,8	27,3	56,1	54,0	65,7	18,3
	90. P.	101,2	72,0	47,2	72,0	51,1	73,7	66,2	95,2	75,1	75,1	75,1	58,8	90,7	80,2	100,1	36,1
	Max. N.	110,0	87,0	64,0	87,0	54,0	74,0	82,0	120,0	110,0	110,0	110,0	64,0	120,0	85,0	110,0	36,0
Be	n > BG		19	19	19	7									8		
	50. P.		0,01	0,01	0,01	0,07									0,03		
	90. P.	n.a.	0,03	0,03	0,03	0,14	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,13	n.a.	n.a.
	Max. N.		0,17	0,17	0,17	0,16									0,18		
Cd	n > BG	8	68	68	68	7		14	18	48	48	48	8	35	12		21
	50. P.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11		0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,07		0,05
	90. P.	0,02	0,05	0,05	0,05	0,29	n.a.	0,12	0,08	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,24	n.a.	0,31
	Max. N.	0,03	0,21	0,21	0,21	0,33		0,12	0,21	0,04	0,04	0,04	0,10	0,08	0,31		0,65
Co	n > BG	9	94	94	94	12		12	10	81	81	81	10	38	12		16
	50. P.	0,2	0,2	0,2	0,2	1,0		0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2		0,2
	90. P.	0,2	0,6	0,6	0,6	2,6	n.a.	1,7	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,8	n.a.	0,7
	Max. N.	0,3	1,7	1,7	1,7	2,6		2,8	0,5	0,7	0,7	0,7	0,3	0,4	1,4		1,4
Cr	n > BG		13	26	26	10		9	9	9	9	9		14			8
	50. P.		0,4	0,3	0,3	1,0		0,5	0,0	0,1	0,0	0,4		0,3			0,4
	90. P.	n.a.	0,6	0,7	0,7	2,0	n.a.	1,1	0,6	0,7	0,6	0,7	n.a.	0,7	n.a.	n.a.	0,6
	Max. N.		0,6	1,4	1,4	1,5		1,2	10,0	1,5	10,0	0,7		1,0			0,7
Cu	n > BG	25	46	47	47	7	18	41	45	30	22	11	23	26	40	56	120
	50. P.	1,0	1,1	2,0	2,0	4,0	1,4	2,0	1,0	2,2	1,7	2,0	0,8	2,2	0,8	1,0	1,0
	90. P.	1,5	2,4	4,2	4,2	7,4	2,4	3,3	2,6	3,5	2,7	3,6	2,0	4,4	1,8	3,6	2,2
	Max. N.	2,1	4,0	6,1	6,1	7,3	2,7	4,0	4,5	4,2	3,3	4,2	3,0	5,7	3,3	11,1	4,5
Fe	n > BG	11	66	44	66	35	6	16	29	125	125	18	8	56	11	8	14
	50. P.	0,2	0,2	0,5	0,2	0,5	0,0	0,4	0,0	0,2	0,2	0,3	0,0	0,2	0,2	0,2	0,4
	90. P.	0,6	0,4	1,5	0,4	1,1	0,3	2,6	0,3	0,5	0,5	0,7	0,1	0,4	0,4	0,4	1,1
	Max. N.	0,9	0,8	2,7	0,8	1,4	0,3	3,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,3	0,6	0,4	0,4	1,8
Hg	n > BG		10	10	10	5								6			
	50. P.		0,001	0,001	0,001	0,005								0,001			
	90. P.	n.a.	0,004	0,004	0,004	0,008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,003	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.		0,020	0,020	0,020	0,008								0,008			

Fortsetzung von Tabelle 21-2

Parameter	Kennwert	Lippe																
		02K1.2	(Ost) 02K1.3	(West) 02K1.3	(Zentrum) 02K1.3	02K2.1	02M1	02M3	(Karst) 02M4	(Nord) 02M4	(Süd) 02M4	(West) 02M4	02M5	(Nord) 02M5	05M5.6	05M5.7	08P5	08P10
Mn	n > BG		45	41	69	12	8	8	27	28	29	12	8	20	10	9	15	8
	50. P.		8,0	73,1	40,3	78,7	17,9	84,1	0,6	31,6	29,1	76,5	0,2	32,5	36,7	0,3	19,5	1,2
	90. P.	n.a.	73,7	178,0	80,0	257,1	149,6	262,7	7,4	85,9	101,1	105,1	5,4	84,1	79,3	24,5	125,1	20,1
	Max. N.		200,0	170,0	140,0	330,0	330,0	340,0	20,0	210,0	210,0	120,0	47,0	88,0	110,0	572,0	120,0	130,0
Mo	n > BG	10	38	25	47	15		10	10	39	22	10		29			15	
	50. P.	0,3	0,1	0,3	0,7	0,7		0,2	0,1	0,3	0,3	0,3		0,5			0,1	
	90. P.	0,5	0,7	1,3	1,8	0,9	n.a.	0,7	0,2	0,7	0,9	0,6	n.a.	0,7	n.a.	n.a.	0,3	n.a.
	Max. N.	0,5	2,9	1,3	2,3	1,0		1,1	0,4	0,5	1,9	0,6		0,6			0,3	
Ni	n > BG		22	37	25	10	9	13	21	24	16	11	11	20	10		14	
	50. P.		0,8	3,0	1,5	5,5	3,8	2,3	0,7	2,2	1,8	1,6	0,5	1,5	1,4		1,6	
	90. P.	n.a.	1,9	5,1	2,7	10,6	14,1	5,5	3,0	3,3	3,0	3,0	2,6	2,4	3,7	n.a.	3,6	n.a.
	Max. N.		4,0	5,5	3,6	11,0	16,0	5,1	9,1	3,9	3,6	3,9	6,3	3,0	5,4		5,2	
Pb	n > BG	9	78	78	78	25		10	17	61	61	61	7	33			17	6
	50. P.	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4		0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3			1,0	0,1
	90. P.	0,3	0,9	0,9	0,9	0,9	n.a.	0,4	0,8	1,1	1,1	1,1	1,5	0,9	n.a.	n.a.	5,0	3,8
	Max. N.	0,3	2,0	2,0	2,0	1,6		0,4	1,9	2,6	2,6	2,6	2,6	2,0			10,0	11,0
Se	n > BG	6	20	20	20	6				46	46	46		42			8	
	50. P.	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2				0,4	0,4	0,4		0,9			0,3	
	90. P.	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	1,1	1,1	1,1	n.a.	1,5	n.a.	n.a.	1,0	n.a.
	Max. N.	0,9	1,6	1,6	1,6	1,2				2,2	2,2	2,2		1,6			1,3	
SO ₄	n > BG	13	53	28	28	10	9	13	43	81	73	23	20	36	12	11	27	11
	50. P.	55,8	24,4	52,6	55,4	52,1	19,4	44,0	32,2	46,3	48,5	67,0	23,5	58,5	30,3	53,4	23,1	19,7
	90. P.	67,8	51,1	86,6	75,7	71,4	24,2	65,9	66,5	60,4	68,9	115,0	35,7	90,3	45,4	141,2	30,4	26,6
	Max. N.	64,0	66,0	140,0	97,0	72,0	24,0	66,1	116,0	71,0	104,0	116,0	36,0	123,0	52,0	159,7	35,0	31,0
Ti	n > BG																	
	50. P.																	
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.																	
Tl	n > BG		48	48	48	12		12	6	32	32	32		10	7		14	
	50. P.		0,01	0,01	0,01	0,03		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,01		0,01	
	90. P.	n.a.	0,02	0,02	0,02	0,06	n.a.	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	n.a.	0,01	0,02	n.a.	0,04	n.a.
	Max. N.		0,07	0,07	0,07	0,09		0,03	0,02	0,03	0,03	0,03		0,02	0,03		0,07	
U	n > BG	25	82	34	24	20		28	16	96	96	96	19	94	18	44	14	9
	50. P.	0,59	0,16	0,51	0,38	0,18		0,19	0,18	0,73	0,73	0,73	0,15	0,45	0,07	0,45	0,03	0,11
	90. P.	1,81	0,61	1,10	0,59	0,52	n.a.	0,69	0,54	1,32	1,32	1,32	0,29	1,31	1,05	1,39	0,27	0,27
	Max. N.	2,10	1,90	1,60	0,86	0,93		1,20	1,20	2,10	2,10	2,10	0,42	3,60	1,30	3,60	0,88	0,39
V	n > BG	10	69	69	69	10		12	9	59	59	59	6	49	8	9		
	50. P.	1,1	0,7	0,7	0,7	1,1		1,6	0,5	1,1	1,1	1,1	0,5	1,3	0,4	0,9		
	90. P.	1,5	1,6	1,6	1,6	1,8	n.a.	2,7	1,0	2,1	2,1	2,1	0,9	2,5	1,1	1,5	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,5	3,0	3,0	3,0	2,1		2,6	1,3	3,0	3,0	3,0	1,0	3,5	1,8	1,3		
Zn	n > BG	27	96	96	96	8	19	11	74	95	95	95	19	34	43	34	26	
	50. P.	5,2	6,3	6,3	6,3	14,6	54,6	11,9	2,2	3,9	3,9	3,9	3,2	5,4	12,2	3,7	4,9	
	90. P.	10,5	17,7	17,7	17,7	29,6	90,5	21,1	10,2	10,6	10,6	10,6	8,2	14,0	26,5	10,1	14,0	n.a.
	Max. N.	14,0	44,0	44,0	44,0	35,0	120,0	21,0	44,0	30,0	30,0	30,0	11,0	27,0	40,0	11,0	12,0	

Die Sedimente des Tertiärs (O2K2.1) sowie der Haltern-Formation (O2M3) reichen aus dem TEZG der Ijsselmeerzuflüsse bis in die Lippe hinein und wurden im Fall der Haltern-Formation zusammen ausgewertet. Wie bereits in Kapitel 20.3 (TEZG Ijsselmeerzuflüsse) beschrieben, spiegeln sich die Affinität von Metallen zu Tonmineralen, Eisen(hydr)oxiden und organischer Substanz (usw.) sowie damit einhergehende mögliche Mobilisierungen in den ermittelten HGW wider (z. B. Be, Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Zn; Tab. 21-2) und bestätigen sich ebenfalls bei Betrachtung der HGW im Grundwasser.

Der ermittelte HGW für Kupfer ist im Tertiär (BE O2K2.1 mit HGW = 7,4 µg/l; Tab. 21-2), wie auch im Fall der Ijsselmeerzuflüsse (HGW = 6,7 µg/l; Tab. 20-2), gegenüber den Konzentrationen im Grundwasser erhöht (HGW Gw bei 6,3 µg/l). Ob eine nutzungsbedingte diffuse Überprägung vorliegt, kann nicht konkret abgeschätzt werden (vgl. Kap. 20.3).

Die ermittelten HGW für Arsen korrelieren räumlich mit den durchschnittlichen Konzentrationen im Grundwasser (HygrisC; Durchschnittswerte 2000 – 2018). So sind in den verkarsteten Gebieten im Südosten/Osten Durchschnittswerte unter 1 µg/l zu beobachten. In den westlichen Bereichen, im Verbreitungsgebiet der Haltern-Formation sowie der Raseneisenerze, liegen die Durchschnittswerte im Grundwasser mitunter deutlich über 1 µg/l. Die HGW im Grundwasser sind im Fall des TEZG der Lippe nur bedingt vergleichbar, da die BE der Oberflächengewässer durch die räumliche Differenzierung der BE O2M4 und O2K1.3 eine höhere Auflösung aufweisen.

In Abwesenheit von Baryt kann Barium auf natürlichem Weg vornehmlich durch die Verwitterung von Feldspäten und Glimmern in die Gewässer eingetragen werden (FISCHER & PUCHELT 1974). Dabei können die Gehalte je nach Zusammensetzung der Gesteine stark variieren. Laut FISCHER & PUCHELT (1974) weisen Quellen des hydrogenkarbonatischen Typs die höchsten Bariumkonzentrationen auf (von 4 bis zu 22 900 µg/l möglich). Entsprechende Tendenzen lassen sich auch in den Grundwassermessstellen beobachten. So liegen die mittleren Konzentrationen im östlichen und zentralen Bereich des TEZG Lippe vornehmlich über 60 µg/l. Im Westen wiederum wird dieser Wert in der Regel unterschritten. Einhergehend mit den Bariumkonzentrationen im Grundwasser liegen auch die HGW im Oberflächenwasser weitläufig über dem Beurteilungswert von 60 µg/l. Die höchsten HGW werden in den verkarsteten Bereichen (BE Karst_02M4), der nördlichen Oberkreide (BE Nord_02M5) sowie im Löss (BE O2K1.2) und im Buntsandstein (BE O5M5.7) erreicht. Im Löss selber werden in der Regel keine erhöhten Bariumkonzentrationen erwartet. Da sich die BE aber im Abstrom der verkarsteten Kalkmergelsteine (BE Karst_02M4) und der Westfälischen Quellenlinie befindet, resultiert der ermittelte HGW voraussichtlich aus der natürlichen Verschleppung im Gewässer.

Bei Betrachtung der HGW für Zink fällt der Bereich des Eggegebirges im Übergang zum TEZG Weser ins Auge (Abb. 21-9_{Zink}). Mit fast 91 µg/l hebt sich die BE O2M1 deutlich von den restlichen Zink-HGW im TEZG ab (HGW von 8,2 bis 29,6 µg/l; Tab. 21-2). Die in Kapitel 21.1 angesprochene mögliche Erzkomponente im Bereich des Osnig- und Gault-Sandsteins (SPEETZEN 2010) scheint sich hier in den Oberflächengewässern widerzuspiegeln. Zudem beschreiben LETHMATE & SCHNEIDER (2001) am Beispiel des Osnings eine geringe Pufferkapazität der Sandsteine, die Versauerungserscheinungen und damit einhergehend Mobilisierungsprozesse, beispielsweise von Schwermetallen bedingen können. Es steht

zu vermuten, dass dies auch auf den Untersuchungsbereich im TEZG Lippe zutrifft. Es ist festzuhalten, dass auch Nickel hier mit 14,1 µg/l seinen höchsten HGW im TEZG Lippe erreicht. Konzentrationsangaben im Grundwasser liegen zu Vergleichszwecken nicht vor.

Vergleicht man die HGW der BE Lippe_08P5 (und Diemel_08P5) mit den ermittelten HGW in den BE 08P5 der anderen TEZG, fällt auf, dass sich Blei (HGW = 5 µg/l), Eisen (HGW = 1,1 µg/l) und Cadmium (HGW = 0,31 µg/l) im oberen Bereich der Wertespanne bewegen (Anhang 35.8). Wie auch in den TEZG Rheingraben-Nord und Ruhr kann hier, neben den natürlichen Gehalten der Gesteine, ein direkter Bezug zu Erzvorkommen hergestellt werden. So erstreckt sich oberhalb der BE Lippe_08P5 und Diemel_08P5 der Briloner Massenkalk-Komplex (BE 08P10), der auf Störungen und Gängen Erze, wie Bleiglanz, führt (PAECKELMANN & KÜHNE 1936).

Zugleich ist festzuhalten, dass sich bei den Auswertungen der BE 08P5 einzelne Messstellen anomal im Wahrscheinlichkeitsnetz zeigten. Diese betreffen z. B. Messwerte für Barium in dem FWK DERW_DENW_278222_0_5 (Lühlingsbach) oder für Zink im FWK DERW_DENW_2782_43_60 (Alme). Im Bereich des Lühlingsbaches und auch der Alme sind zwar Tagesöffnungen im IS GDU aufgeführt, inwieweit hier aber Einträge in die Gewässer stattfinden, ist unklar. Gleichzeitig sind verstärkt Vererzungen in den Randstaffeln des Briloner Massenkalk-Komplexes bekannt, die sowohl den Lühlingsbach als auch die Alme betreffen können. So wurde beispielsweise in einer Messstelle unterhalb der Alme-Quelle in einer erneuten Beprobung eine Zinkkonzentration von 76 µg/l gemessen. Da die Messstelle oberhalb der Bebauung liegt, ist hier nicht von einer unmittelbaren anthropogenen Beeinflussung auszugehen. Als geogene Anomalie fällt die Messstelle zwar im Wahrscheinlichkeitsnetz auf, kann aber nicht separat ausgewertet werden. Es besteht somit die Möglichkeit, dass die HGW im FWK Lühlingsbach und der Alme nicht zur Genüge durch den HGW der BE abgebildet und somit unterschätzt werden.

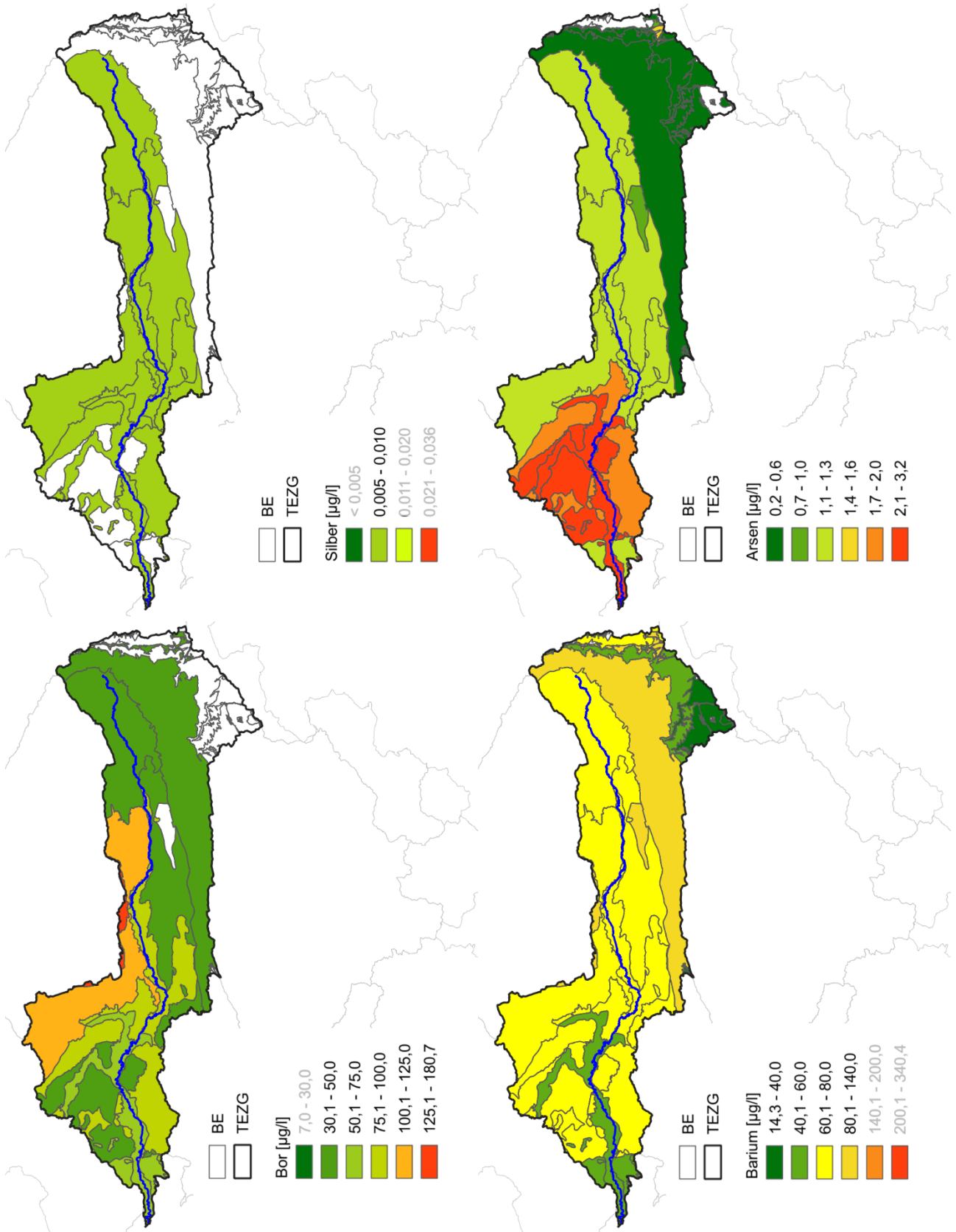


Abb. 21-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Lippe

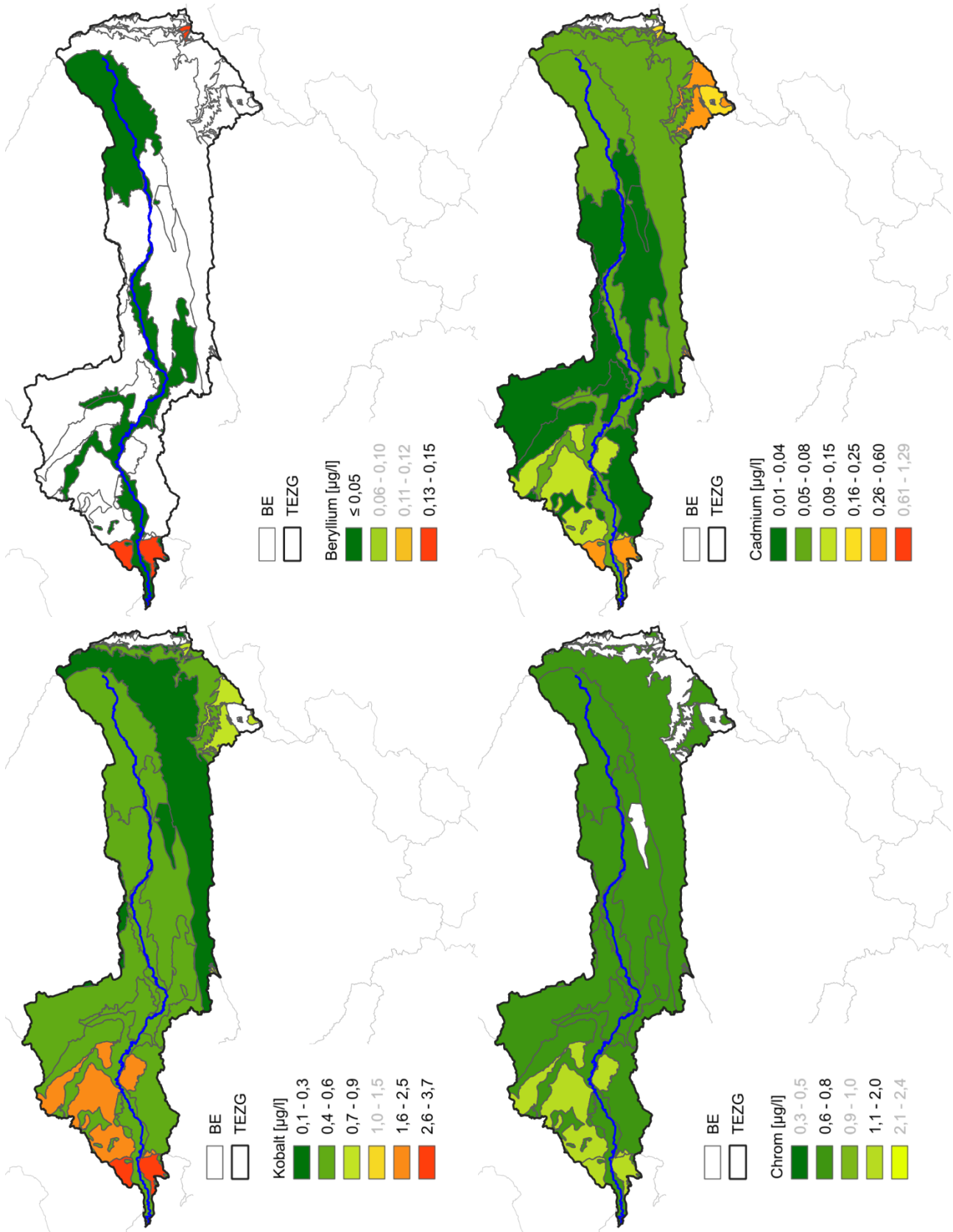


Abb. 21-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Lippe

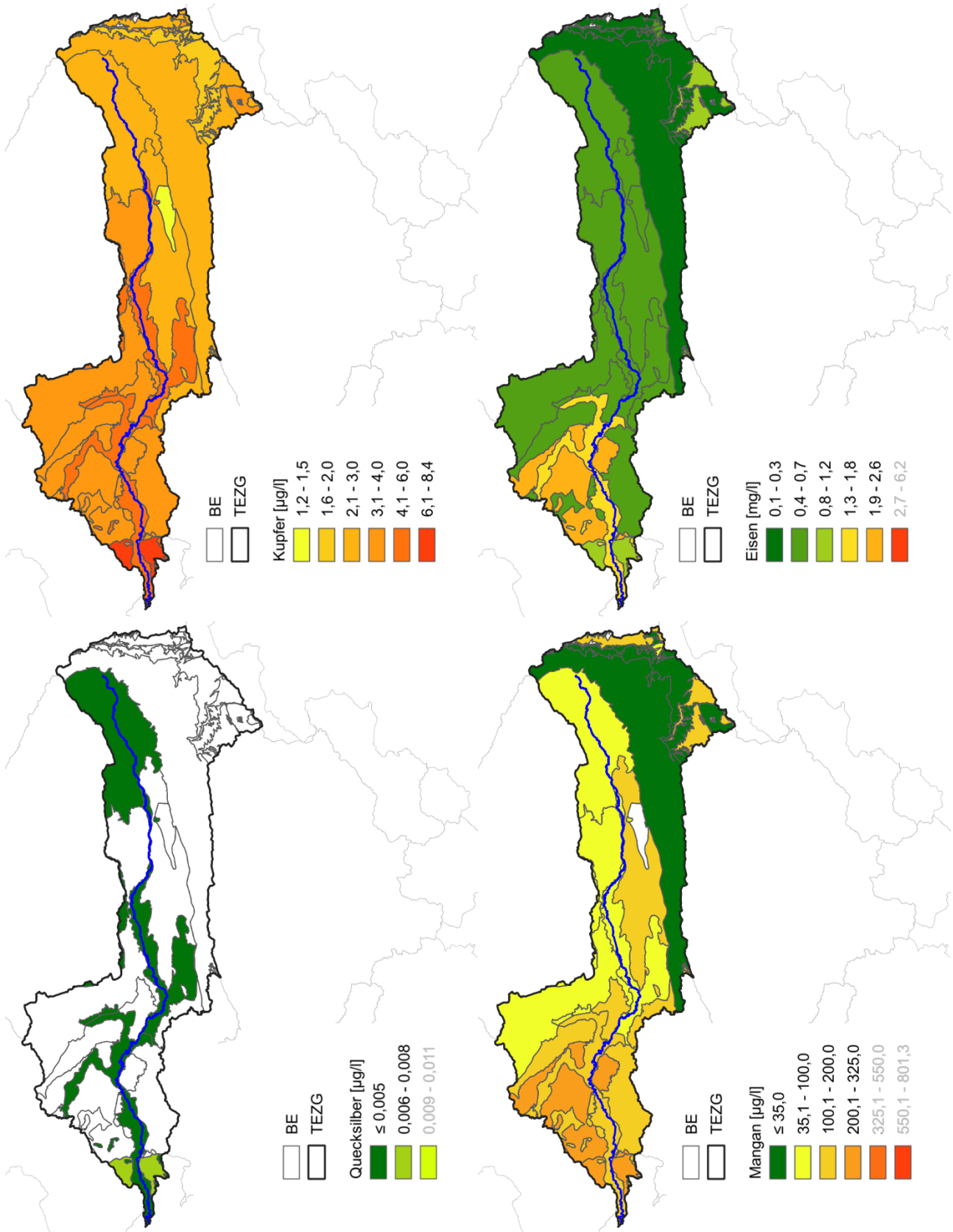


Abb. 21-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE des TEZG Lippe

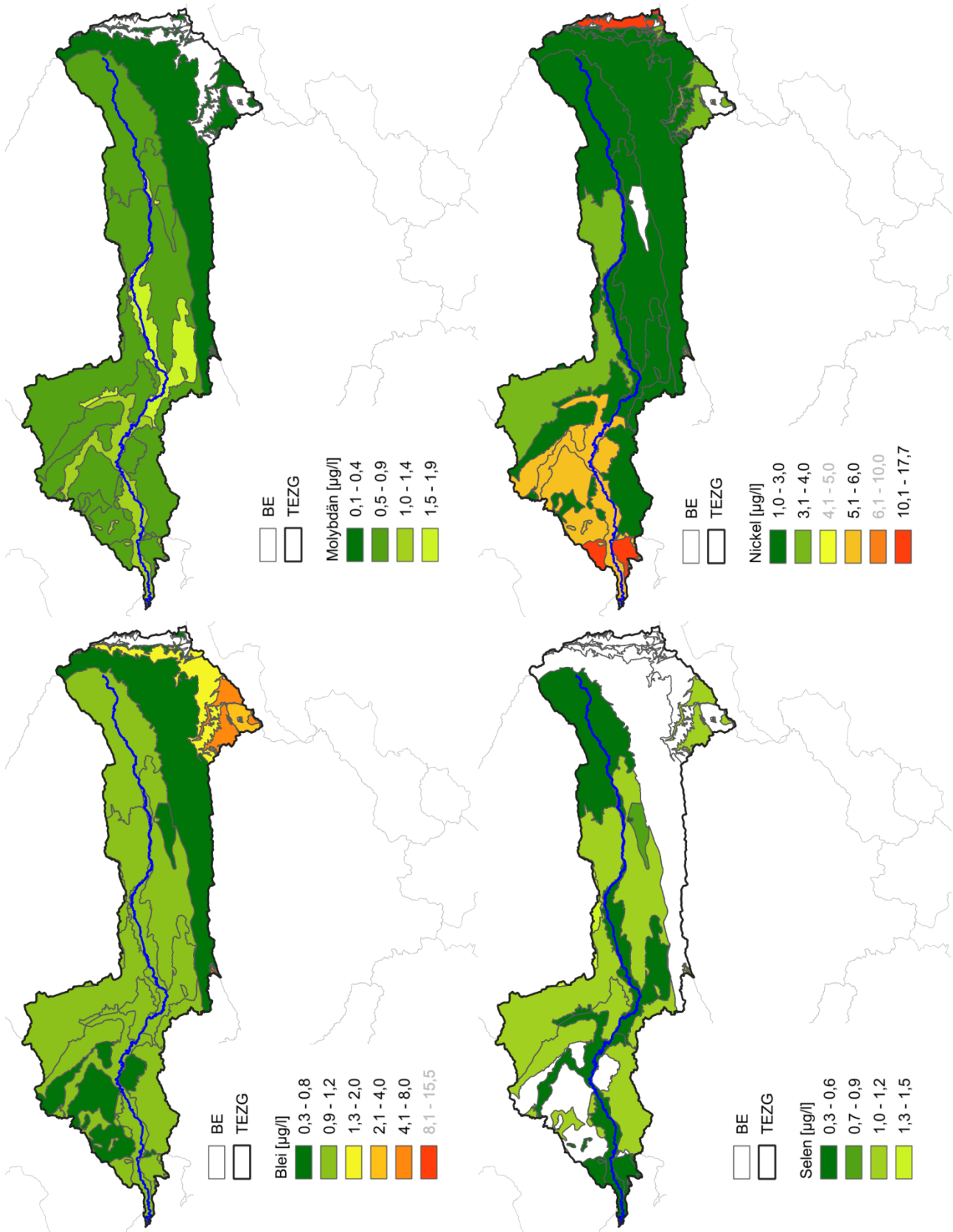


Abb. 21-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE des TEZG Lippe

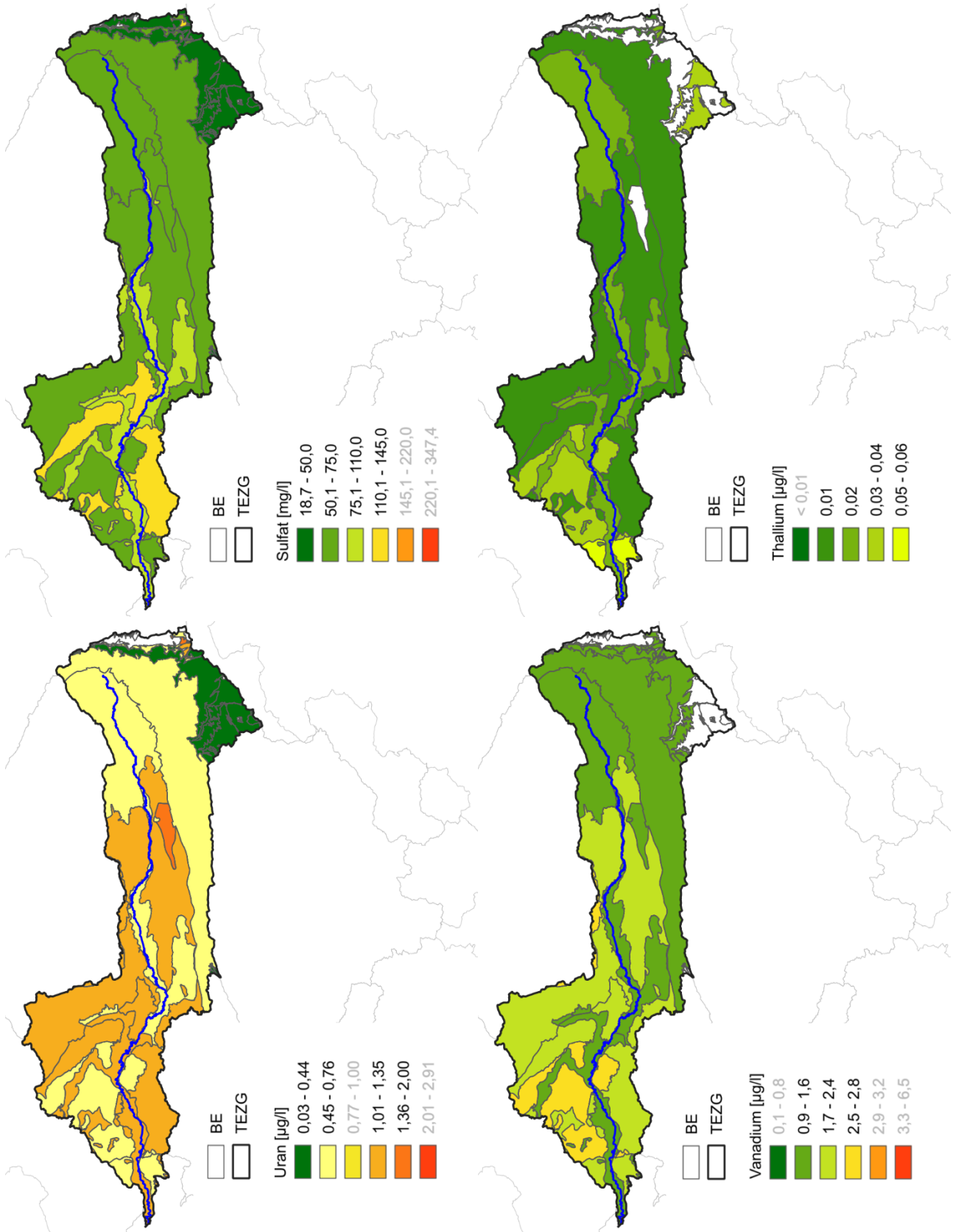


Abb. 21-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE des TEZG Lippe

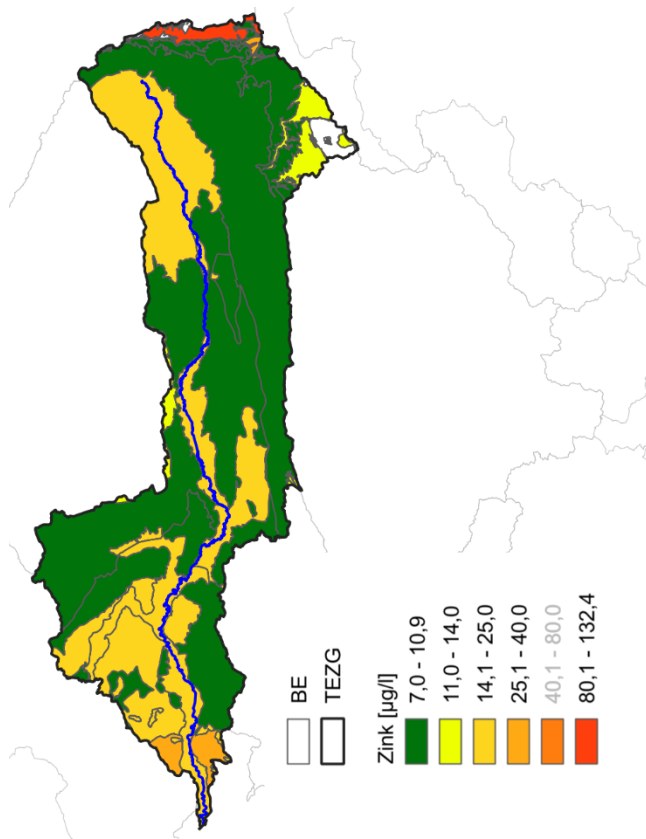


Abb. 21-9: HGW_{ges} für Zink in den BE des TEZG Lippe

22 Emscher

22.1 Gebietsbeschreibung

Mit einer Größe von rund 865 km² (EGLV a) liegt das TEZG der Emscher am südwestlichen Rand der Westfälischen Bucht und greift im Westen in das Niederrheinische Tiefland hinein. Im Süden grenzt das TEZG an das Bergische Land. In Abbildung 22-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 22-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.

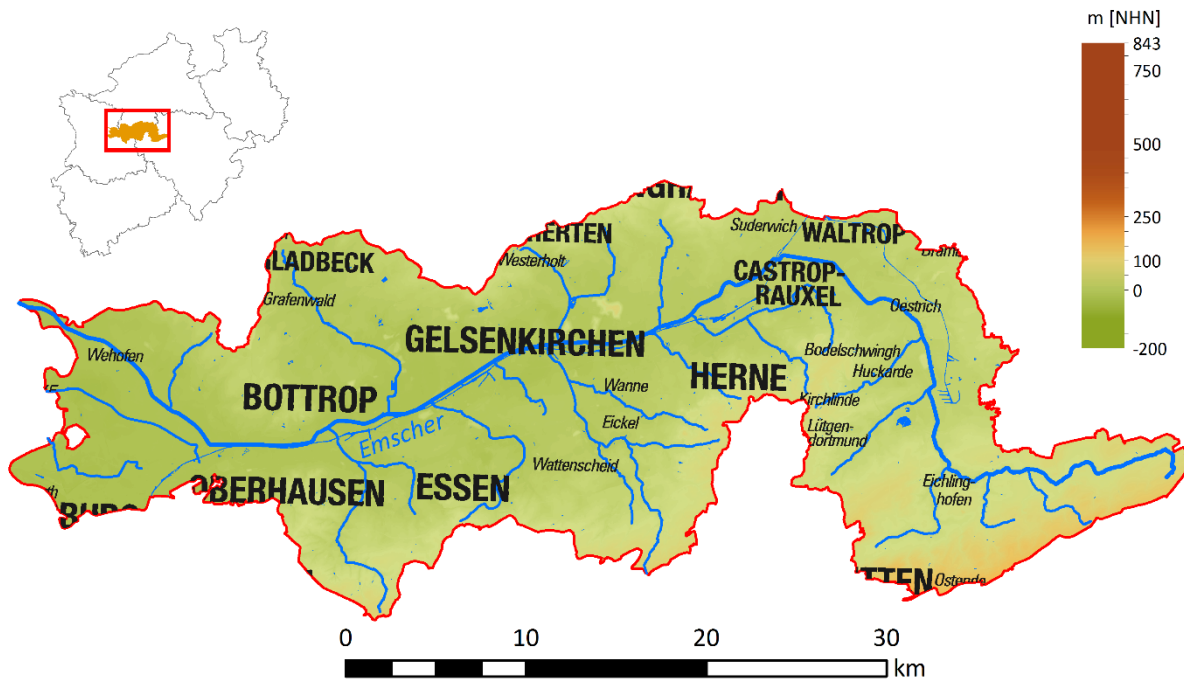


Abb. 22-1: TEZG Emscher

Das Gebiet der Emscher ist bekannt als bedeutender Standort des Steinkohlebergbaus sowie zahlreicher Industrie- und Gewerbebetriebe. Mit rund 34 % Siedlungs- und 13 % Industrie-/Gewerbebläche ist die Region dicht besiedelt (MUNLV 2005 h). Viele Jahrzehnte wurden die Emscher und ihre Nebenflüsse als offenes Ableitungssystem für Abwässer ausgebaut und genutzt. Seit den 90er-Jahren wird jedoch eine Umnutzung der Gewässer angestrebt, sodass nach und nach eine Renaturierung der Wasserläufe erfolgt (MUNLV 2005 a).

Geologie/Hydrogeologie

Der paläozoische Untergrund ist im TEZG der Emscher durch Südwest – Nordost verlaufende Sattel- und Muldenstrukturen geprägt, die wiederum von Nordwest – Südost streichenden Störungszonen durchtrennt werden (GLA 1995; Abb. 22-2). Im Zentrum des TEZG wird das Paläozoikum durch Mergelsteine des Kernmünsterlandes überdeckt (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Hierbei handelt es sich vornehmlich

um Tonmergelsteine der Emscher-Formation, die nach Westen in Sandmergelsteine der Emscher-Grünsand-Subformation übergehen (IS GK 100). In südliche Richtung folgen die Kalk- und Kalkmergelsteine des Hellwegs und des Westernhellwegs (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016), die schließlich durch das herausgehobene, stark gefaltete paläozoische Grundgebirge („Ruhrkarbon“) abgelöst werden. Die karbonischen Schluff- und Tonsteine führen Einschaltungen von Sandsteinen und Kohleflözen, sodass die Durchlässigkeit des Kluftgrundwasserleiters lokal variiert (sehr gering bis mäßig) (IS HK 100; Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Im Bereich der Emscher wird das kreidezeitliche Deckgebirge durch Terrassensedimente der Emscherniederungen überdeckt. Zum Teil mächtige Lössablagerungen überlagern vor allem im Bereich des Westernhellwegs die Festgesteine der Kreide und mitunter des Karbons (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

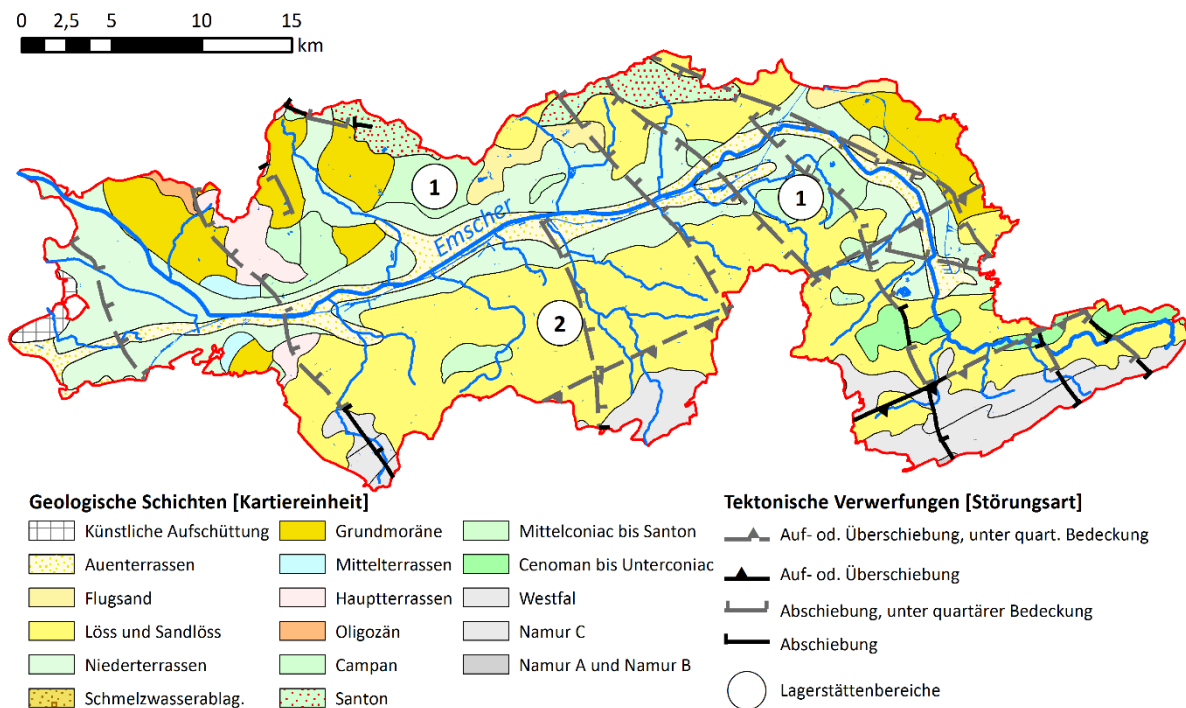


Abb. 22-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Emscher

Durch Grundwasserabsenkungen sowie Verrohrungen/Verbauung der Gewässer besteht im Bereich der Porengrundwasserleiter (Terrassensedimente) nur lokal eine Anbindung der Gewässer an das Grundwasser.

Lagerstätten und Mineralisation

Das TEZG der Emscher fällt zur Gänze in das **Niederrheinisch-Westfälische Steinkohlegebiet**. Während die Karbonoberfläche im TEZG der Lippe noch Tiefen von bis zu 1 000 m erreicht, steigt sie nach Süden in Richtung Emscher an und streicht südlich des Westernhellwegs aus. Bereits in Kapitel 21.1 wurde auf Erz- und Gangminerale (z. B. Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz, Pyrit, Baryt) hingewiesen, die an Störungen

und Klüfte des karbonischen Steinkohlegebirges gebunden sind (PILGER 1961) und im TEZG der Emscher weitläufig verbreitet sind (IS Erz; HESEMANN & KNEUPER & PILGER 1955/56).

In Steinkohlen selber können ebenfalls relevante Spurenelemente (z. B. Arsen, Beryllium, Cadmium, Kobalt, Vanadium) organisch oder anorganisch gebunden sein (SCHRÖDER 1992) und erhöhte Gehalte erreichen (MERKEL & SPERLING 1998; SCHNEIDER et al. 2003). HESEMANN (1961) merkt an, dass die Anreicherungen einzelner metallischer Spurenelemente lokal sogar Konzentrationen einiger Erzlagerstätten erreichen können.

Die Mergel- und Tonmergelsteine der **Emscher-Formation** (Verbreitung beispielhaft dargestellt in Abb. 22-2 Markierung 1) sind als pyrithaltiges Karbonatgestein bekannt (DROSTE & WISOTZKY 2015). Erfahrungswerte aus dem TEZG der Oberen Ems (Kreis Warendorf 2010) sowie Untersuchungen durch WISOTZKY & DROSTE & BANNING (2017) legen darüber hinaus auch geogen auftretende, erhöhte Borgehalte nahe.

Eine weitere Besonderheit bildet die glaukonitreiche Essen-Grünsand-Formation, die im **Raum Essen/Bochum** (Abb. 22-2: Markierung 2) vorliegt (MERTENS et al. 2001), in der Regel aber durch Löss überdeckt ist (IS GK 100). Untersuchungen haben gezeigt, dass gegenüber vergleichbaren Sedimenten im Schnitt höhere Gehalte an z. B. Arsen, Chrom, Eisen, Nickel, Blei, Vanadium und Zink vorhanden sind. Dabei wurden beispielsweise für Arsen und Vanadium Anreicherungen um den Faktor 80 beobachtet (MERTENS et al. 2001).

22.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 22-3 sowie Tabelle 22-1 wird ein Überblick über die im TEZG Emscher abgegrenzten BE gegeben.

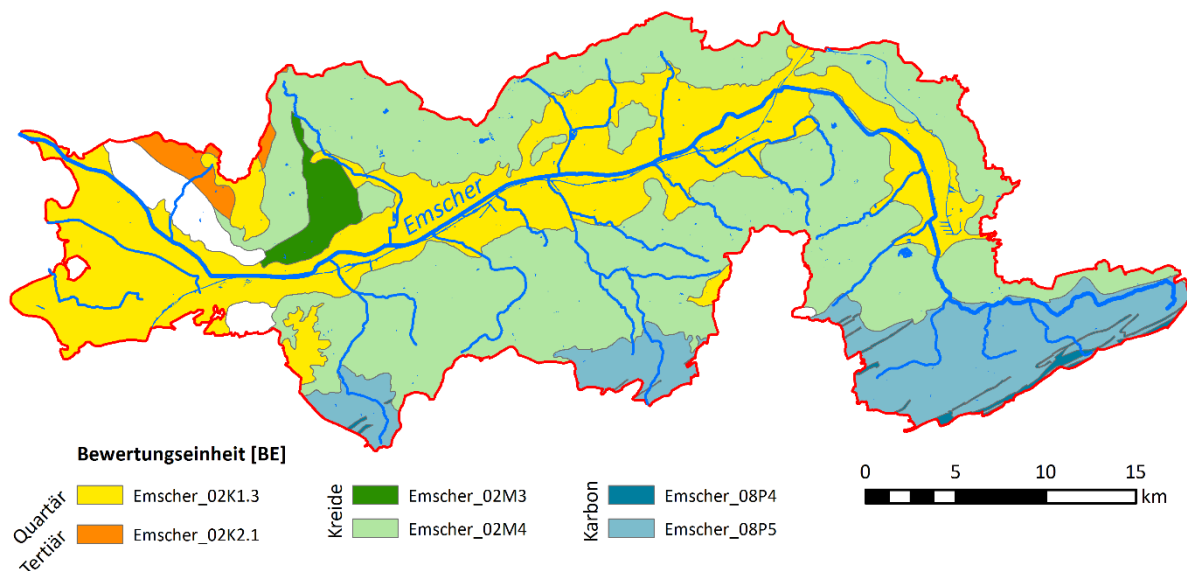


Abb. 22-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Emscher

Tab. 22-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Emscher

Emscher_		Fläche [km ²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	272,5
02K2.1	tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe (ohne Bk), östlicher Niederrhein	10,1
02M3	Oberkreide, silikatisch	16,1
02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	413,2
08P4	karbonische Sandsteine und Quarzite	6,3
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	114,6

Im Rahmen der Präselektion (Kap. 8.2) wurden einzelne BE aus der Auswertung ausgeschlossen. Mit knapp 88 % besiedelter Fläche erfüllt die Einheit 02M3 nicht das Besiedlungskriterium. Die BE 02K1.3, 02M4 und 08P5 liegen bei einem Besiedlungsanteil zwischen 60 und 80 %. Im Quartär (BE 02K1.3) ließ die Belastungssituation der vorliegenden Messstellen keine Auswertung zu. In den kreidezeitlichen (BE 02M4) und karbonischen Schichten (BE 08P5) lagen wiederum ausreichend Messstellen für eine Auswertung vor.

Durch ihre schmale Ausbisslinie und geringe Fläche (vgl. Abb. 22-3) lag für die BE 08P4 nur eine geringe Datendichte vor, sodass keine Auswertung vorgenommen werden konnte.

Ausgehend von den Ijsselmeerzuflüssen reichen die Niederrheinischen Sandplatten über das TEZG der Lippe hinweg und keilen im TEZG der Emscher aus (BE Emscher_02K2.1). Für die Auswertung wurden die tertiärzeitlichen BE Ijsselmeerzuflüsse_/Lippe_ und Emscher_02K2.1 zusammengeschlossen.

22.3 Ergebnisse

Im Fall der Emscher handelt es sich um ein stark anthropogen überprägtes TEZG, in dem eine Vielzahl von Messstellen für die Ermittlung natürlicher Hintergrundkonzentrationen nicht geeignet war und mit Blick auf die Auswertungen verworfen werden musste. Ein Abgleich ermittelter Werte mit Konzentrationen in Grundwassermessstellen sowie HGW im Grundwasser ist infolge der Belastungssituation bzw. der unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäbe (HGC vs. BE) nur bedingt möglich. Dennoch konnten nach sorgfältiger Messstellenauswahl sowie sinnvollen Zusammenschlüssen von BE HGW angegeben werden.

In Tabelle 22-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 22-4 bis 22-8 in Karten dargestellt.

Die BE 02M3 erfüllt im TEZG der Emscher nicht das Besiedlungskriterium (> 80 % Besiedlung) und wird von der Auswertung ausgeschlossen. Da in den TEZG Lippe und Ijsselmeerzuflüsse ebenfalls die BE 02M3 vorliegen und hier durch einen Zusammenschluss beider BE eine repräsentative Auswertung möglich war, ist anzunehmen, dass die ermittelten HGW ebenfalls auf die BE Emscher_02M3 übertragbar sind.

Tab. 22-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Emscher			
		02K2.1	02M3	02M4	08P5
Ag	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
As	n > BG	26	14	15	8
	50. P.	0,8	0,7	1,2	0,2
	90. P.	1,2	3,2	1,9	0,4
	Max. N.	1,1	4,6	1,9	0,5
B	n > BG	25	8	9	7
	50. P.	49,2	25,0	64,7	71,8
	90. P.	63,0	36,4	123,2	91,5
	Max. N.	69,0	43,0	150,0	92,0
Ba	n > BG	29	13	9	14
	50. P.	48,1	37,2	54,8	36,9
	90. P.	69,4	66,2	75,9	45,4
	Max. N.	66,0	82,0	85,0	50,0
Be	n > BG	19			
	50. P.	0,08			
	90. P.	0,15	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,16			
Cd	n > BG	20	14	8	12
	50. P.	0,13	0,05	0,01	0,01
	90. P.	0,29	0,12	0,09	0,03
	Max. N.	0,33	0,12	0,22	0,06
Co	n > BG	25	12	8	11
	50. P.	0,9	0,5	0,1	0,1
	90. P.	3,0	1,7	0,4	0,2
	Max. N.	4,8	2,8	0,6	0,2
Cr	n > BG	10	9		
	50. P.	1,0	0,5		
	90. P.	2,0	1,1	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,5	1,2		
Cu	n > BG	16	41	15	29
	50. P.	4,6	2,0	1,6	1,7
	90. P.	7,1	3,3	3,1	2,6
	Max. N.	8,3	4,0	3,5	3,0
Fe	n > BG	35	16	14	32
	50. P.	0,5	0,4	0,4	0,3
	90. P.	1,1	2,6	0,9	0,6
	Max. N.	1,4	3,9	1,3	0,8
Hg	n > BG	5			
	50. P.	0,005			
	90. P.	0,008	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,008			

Parameter	Kennwert	Emscher			
		02K2.1	02M3	02M4	08P5
Mn	n > BG	12	8	21	20
	50. P.	78,7	84,1	65,2	85,4
	90. P.	257,1	262,7	188,6	194,9
	Max. N.	330,0	340,0	160,0	350,0
Mo	n > BG	15	10	31	14
	50. P.	0,7	0,2	1,0	0,4
	90. P.	0,9	0,7	1,9	1,1
	Max. N.	1,0	1,1	2,3	1,9
Ni	n > BG	10	13	20	
	50. P.	5,5	2,3	2,0	
	90. P.	10,6	5,5	3,2	n.a.
	Max. N.	11,0	5,1	3,9	
Pb	n > BG	25	10	10	11
	50. P.	0,4	0,3	0,4	0,4
	90. P.	0,9	0,4	1,8	2,0
	Max. N.	1,6	0,4	2,7	3,8
Se	n > BG	6		5	
	50. P.	0,2		0,7	
	90. P.	0,6	n.a.	1,2	n.a.
	Max. N.	1,2		1,4	
SO ₄	n > BG	27	13	19	9
	50. P.	54,7	44,0	100,7	74,2
	90. P.	76,9	65,9	161,4	92,5
	Max. N.	90,8	66,1	177,0	92,0
Ti	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Tl	n > BG	12	12	8	
	50. P.	0,03	0,01	0,01	
	90. P.	0,06	0,03	0,02	n.a.
	Max. N.	0,09	0,03	0,03	
U	n > BG	20	28	21	8
	50. P.	0,18	0,19	0,58	0,08
	90. P.	0,52	0,69	1,33	0,33
	Max. N.	0,93	1,20	1,90	0,42
V	n > BG	25	12	12	
	50. P.	1,4	1,6	1,3	
	90. P.	3,0	2,7	2,4	n.a.
	Max. N.	4,2	2,6	2,1	
Zn	n > BG	19	11	9	30
	50. P.	15,4	11,9	3,5	5,2
	90. P.	30,0	21,1	19,3	17,2
	Max. N.	43,0	21,0	36,0	38,0

Eine TEZG-übergreifende Auswertung von Ijsselmeerzuflüssen, Lippe und Emscher wurde für die BE 02K2.1 vorgenommen. Wie bereits in den Kapiteln 20.3 und 21.3 angemerkt, werden in den tonig bis sandigen Sedimenten mit z. T. organisch geprägten Böden (soweit vorhanden) erhöhte HGW in Grundwasser und Oberflächenwasser verzeichnet.

Die BE Ruhr(West)_08P5 bildet im Süden/Südwesten des TEZG Emscher die natürliche Verlängerung der BE Emscher_08P5. In beiden BE wurden unabhängig voneinander vergleichbare HGW ermittelt, sodass die jeweiligen Ergebnisse sich gegenseitig stützen. Eine Ausnahme bilden die HGW für Mangan und Sulfat, die über den Vergleichswerten der Ruhr(West)_08P5 liegen. Unter Berücksichtigung der bekannten Nutzungsstrukturen im TEZG Emscher (u. a. Steinkohlebergbau) steht zu vermuten, dass die Parameter hier durch diffuse anthropogene Einträge, beispielsweise über den Luftpfad, ubiquitär überprägt wurden und damit höhere Werte bedingen.

Betrachtet man die Ergebnisse der BE 02M4, fällt ein Großteil der Parameter durch Überschreitungen der jeweiligen Beurteilungswerte auf (Arsen, Bor, Barium, Eisen, Mangan, Blei, Sulfat, Uran, Vanadium, Zink). Bereits in Kapitel 22.1 wurde angedeutet, dass geogene Stoffquellen im TEZG der Emscher vorliegen und zu erhöhten Konzentrationen der Parameter führen können. Eine Gegenüberstellung der HGW aus der südlichen und westlichen Oberkreide im TEZG der Lippe mit den Werten des TEZG Emscher bestätigt einen Großteil der ermittelten Werte. Zugleich sind die Konzentrationen an Arsen, Bor, Cadmium, Eisen, Mangan, Blei, Sulfat und Zink gegenüber den Vergleichsgebieten leicht erhöht. Im Zusammenhang mit dem Emscherumbau wird durch DROSTE & WISOTZKY (2015) auf Pyritoxidationsprozesse in der Emscher-Formation hingewiesen, durch die unter anderem Arsen, Sulfat und Eisen verstärkt freigesetzt und in die Oberflächengewässer eingetragen werden können. Ob im Fall der BE 02M4 die ermittelten Werte zur Gänze aus natürlichen Prozessen resultieren oder die Mobilisierung anthropogen induziert wurde, kann anhand der vorliegenden Daten nicht eindeutig geklärt werden. Identifizierte Anomalien, die in Zusammenhang mit dem Emscherumbau gesetzt werden konnten (z. B. Sulfat im Deininghauser Bach) und abgetrennt wurden, lassen vermuten, dass anthropogene Effekte (soweit möglich) entfernt wurden. Die Anzahl an Messwerten über der BG, die in den Auswertungen berücksichtigt wurde, liegt im Mittel bei zehn Datensätzen und ist damit verhältnismäßig gering. Um eine höhere statistische Sicherheit für die HGW zu erhalten, besteht die Möglichkeit, neue, unbeeinflusste Messstellen bzw. Messwerte mit den ermittelten HGW in Bezug zu setzen.

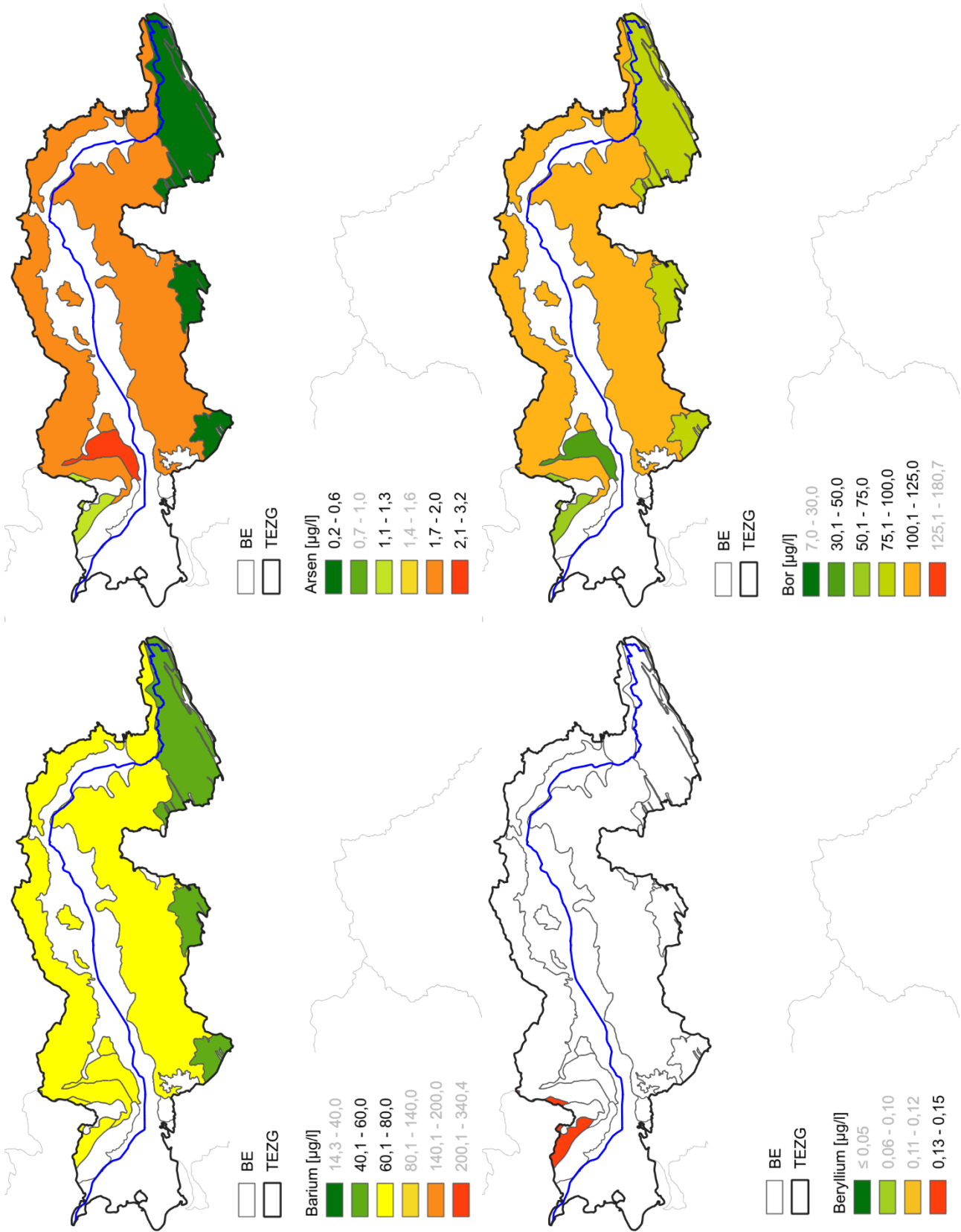


Abb. 22-4: HGW_{ges} für Arsen, Bor, Barium und Beryllium in den BE des TEZG Emscher

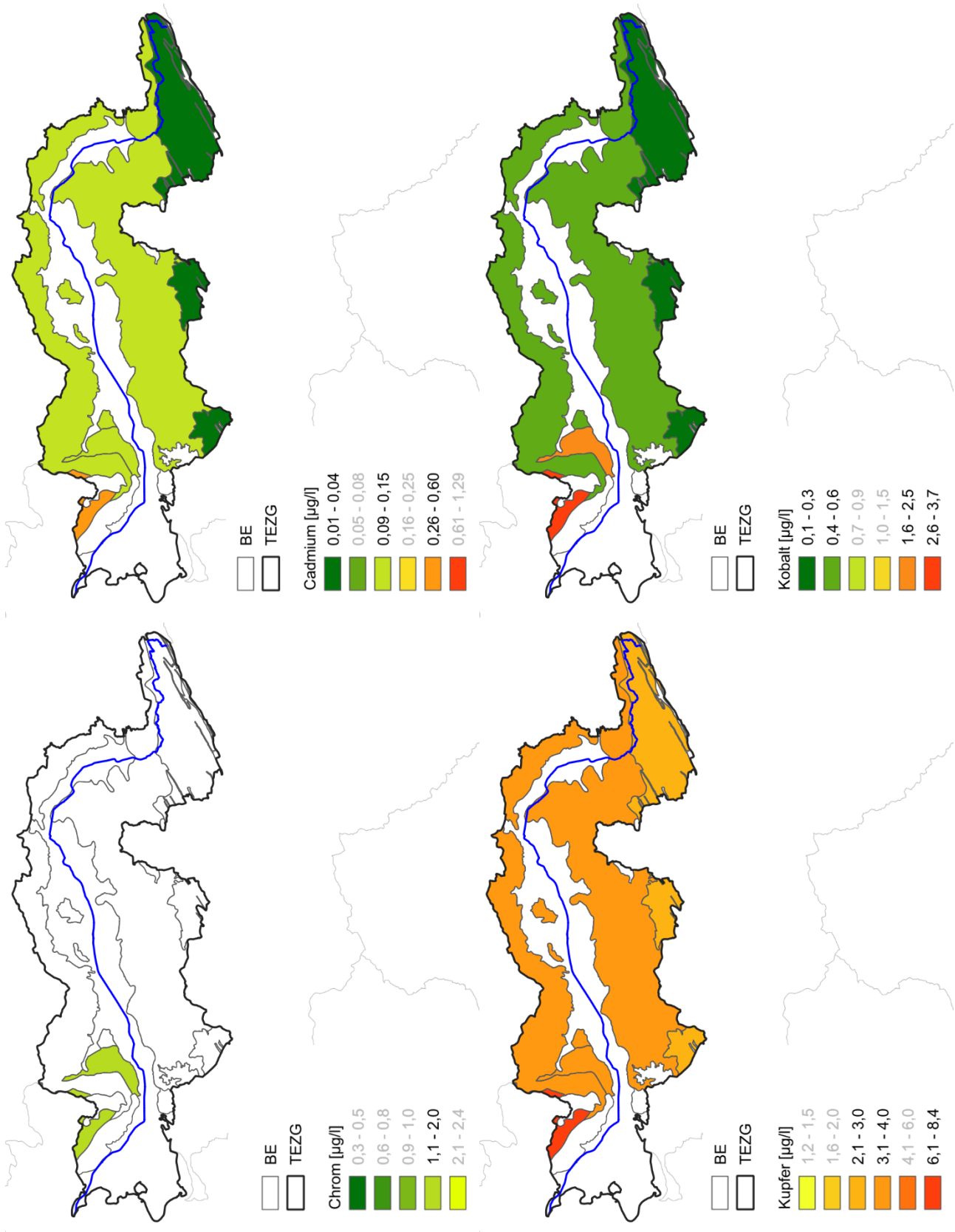


Abb. 22-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE des TEZG Emscher

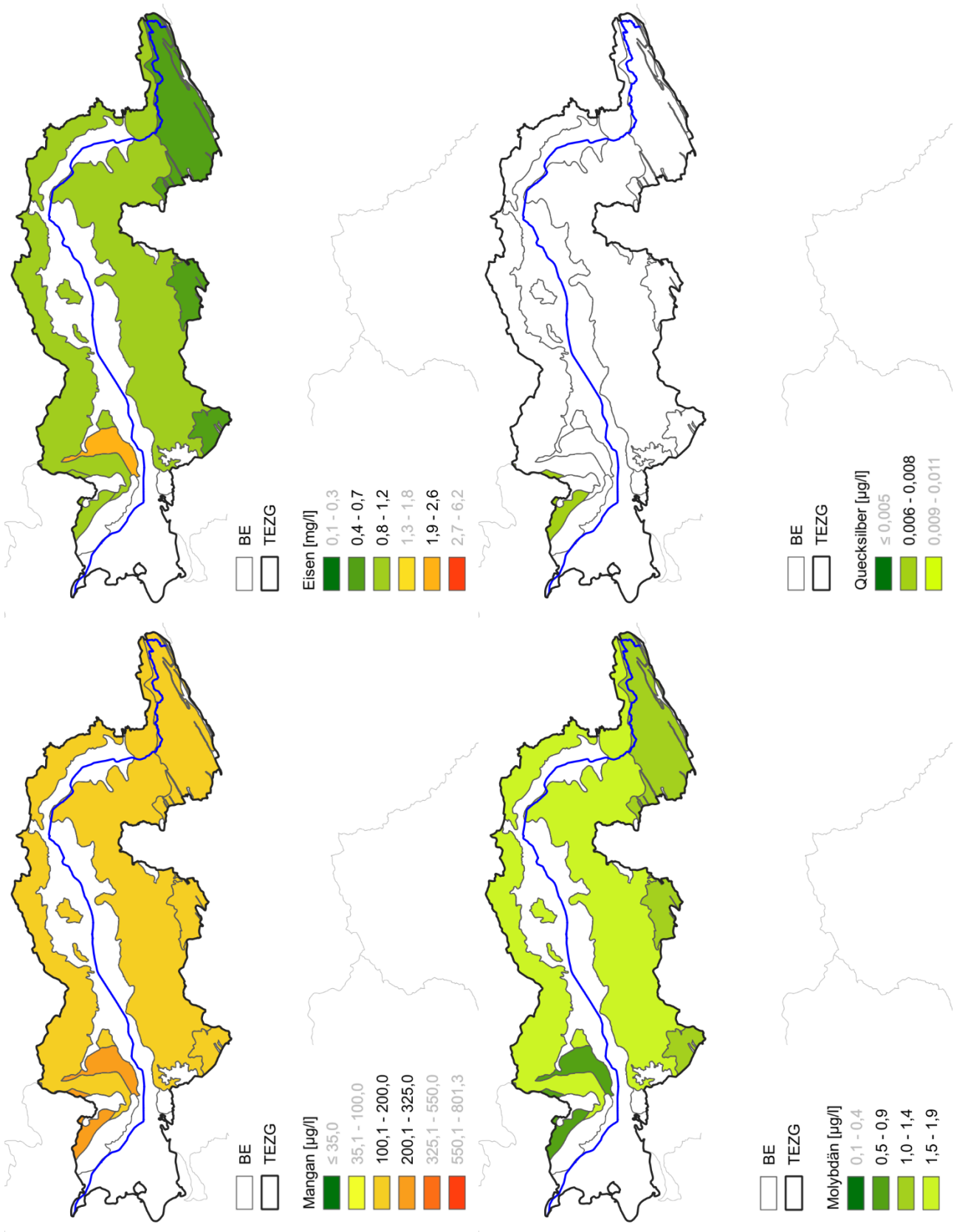


Abb. 22-6: HGW_{ges} für Eisen, Quecksilber, Mangan und Molybdän in den BE des TEZG Emscher

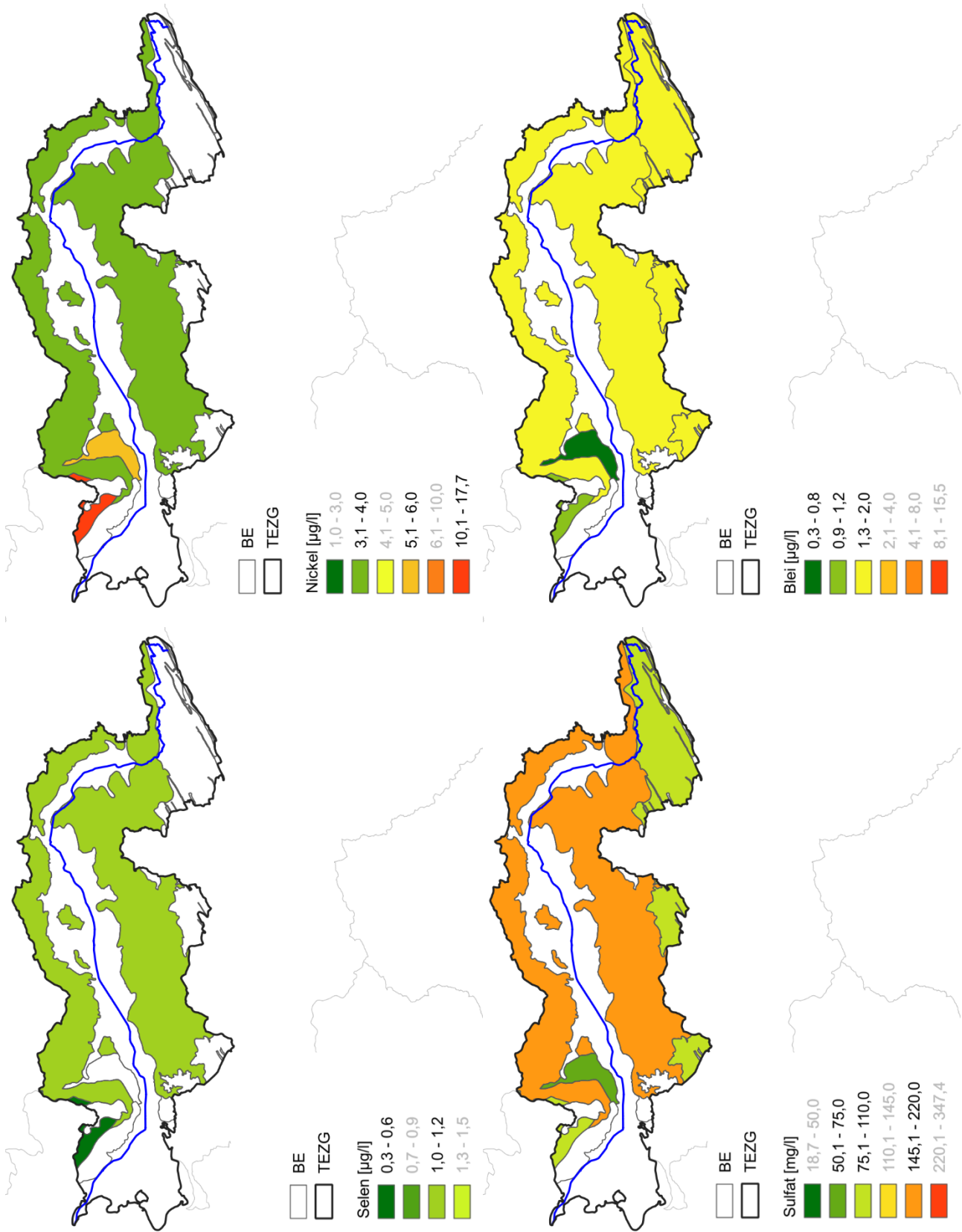


Abb. 22-7: HGW_{ges} für Nickel, Blei, Selen und Sulfat in den BE des TEZG Emscher

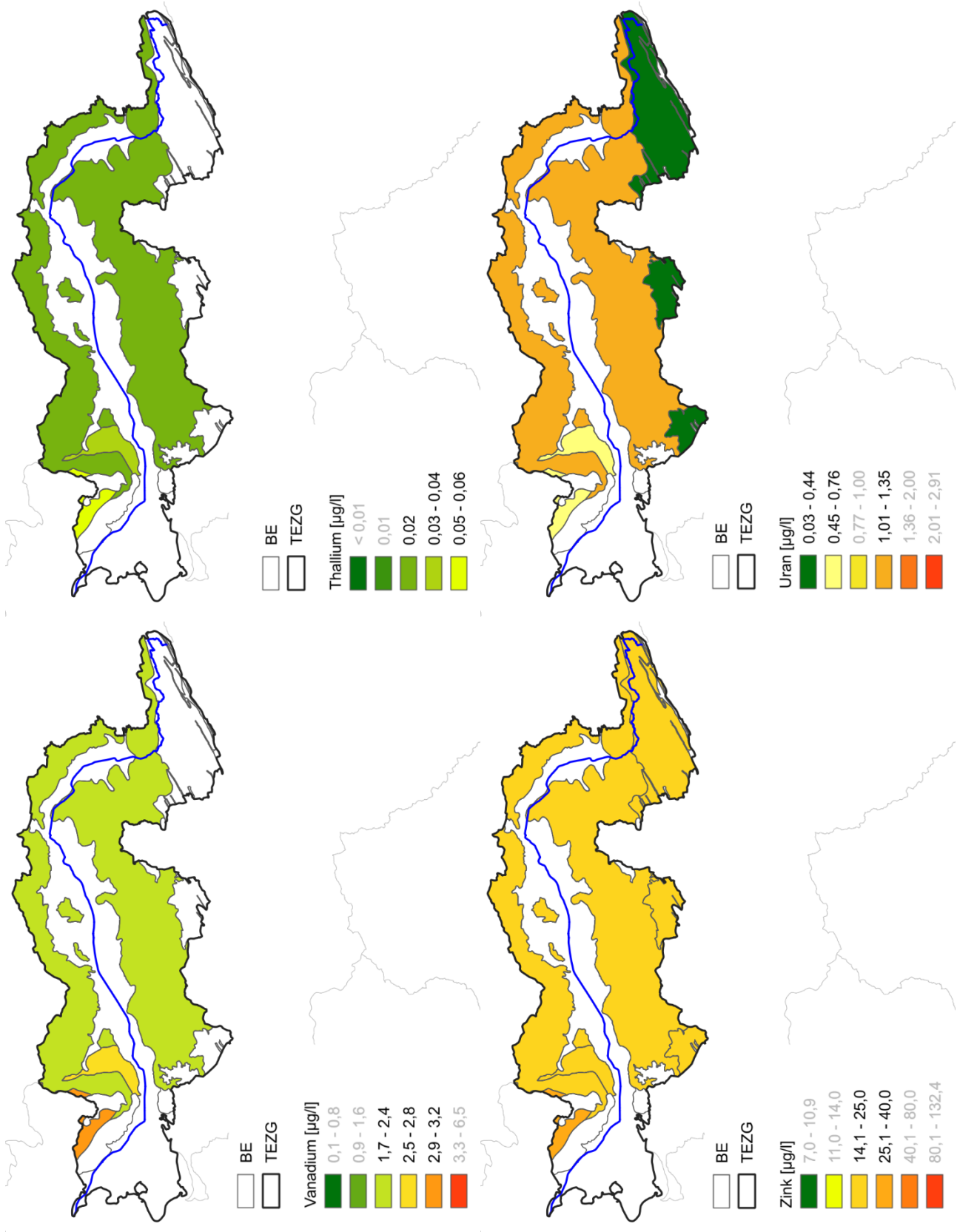


Abb. 22-8: HGW_{ges} für Thallium, Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Emscher

23 Ruhr

23.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Ruhr (4 478 km²) erstreckt sich über einen Großteil des Sauer- und Siegerlandes. Nach Westen reicht es über das nördliche Bergische Land hinaus bis in das Niederrheinische Tiefland. Die Westfälische Bucht bildet die nördliche Begrenzung des TEZG. In Abbildung 23-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 23-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.

Im Südosten (nördlicher Teil des Rothaargebirges) erreicht das TEZG Höhen von bis zu 800 m ü. NHN. In nördliche Richtung fällt das Bergland zunehmend ab und geht bei Hagen in das Niederbergisch-Märkische Hügelland über (bis zu 300 m ü. NHN). Im westlichen Flachland bei Mülheim an der Ruhr liegt die Geländehöhe nur noch zwischen 60 und 100 m ü. NHN (WMS DTK 100).

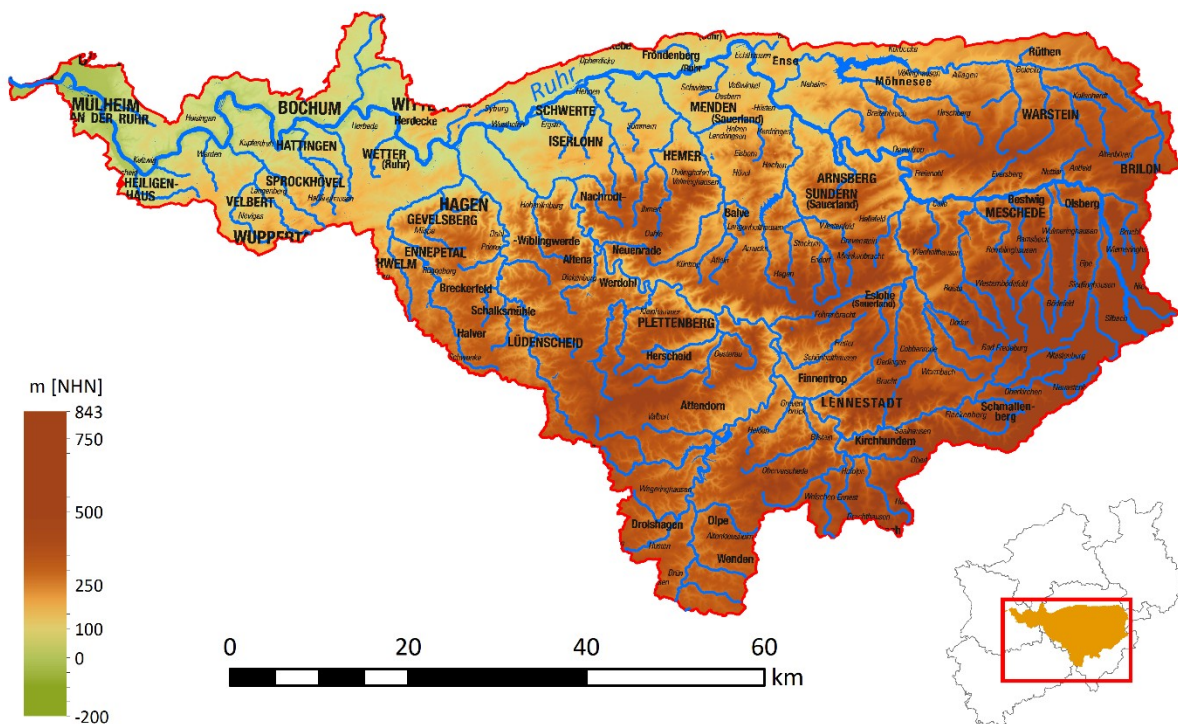


Abb. 23-1: TEZG Ruhr

Das Mittelgebirge des Sauer- und Siegerlandes zeichnet sich durch seine vielgestaltigen Höhenzüge aus, in die sich die Flusstäler mitunter steil und tiefgründig eingeschnitten haben (GD NRW 2017). Während Ruhr und Lenne im Rothaargebirge entspringen (auf der Winterberger Hochfläche bzw. am Westhang des Kahlen Asten) und auf ihrem Fließweg Höhendifferenzen von knapp 700 m überwinden, entspringt die Möhne südlich von Brilon und fließt ab Rüthen in einem Ost-West-Verlauf bis in die Ruhr (in etwa 400 Höhenmeter Differenz) (WMS DTK 10).

Als Lieferant von Trink- und Brauchwasser hat die Ruhr einen wichtigen Stellenwert. Mit mehr als 800 wasserwirtschaftlichen Anlagen (Ruhrverband) wird die Wasserversorgung gewährleistet und das Abflussregime der Gewässer kontrolliert. Darunter fallen unter anderem 17 Talsperren (z. B. Bigge-, Möhne-, Sorpe- und Hennetalsperre), zehn große Flusstauanlagen sowie zwei Pumpspeicherwerke (MUNLV 2005 d).

Die Landnutzung unterscheidet sich im TEZG der Ruhr räumlich deutlich. Rund 52 % des TEZG werden von Wald- und Forstflächen eingenommen. Diese konzentrieren sich jedoch vornehmlich auf die Gebirgsbereiche (Kammlagen und Steilhänge) des Sauer- und Siegerlandes (GD NRW 2017). Landwirtschaftlich genutzte Flächen sind überwiegend auf die Talniederungen und das Flachland beschränkt und nehmen knapp 31 % der Gesamtfläche ein. Der Nordwesten zeichnet sich verstärkt durch städtische Strukturen aus (ATKIS). Einen weiteren bedeutsamen Faktor im TEZG der Ruhr bildet der Erz- und Steinkohlebergbau, dessen Abwässer den Fließgewässern zugeführt werden.

Geologie/Hydrogeologie

Der Untergrund im TEZG der Ruhr ist deutlich durch die Tektonik und den strukturellen Aufbau des Rheinischen Schiefergebirges geprägt. Südwest – Nordost verlaufende Faltenstrukturen (z. B. Remscheid-Altenaer Sattel, Ebbe-Sattel, Ostsauerländer Hauptsattel) sinken in nordöstliche Richtung ab und werden zunehmend durch jüngere Gesteine des Paläozoikums überlagert. Damit einhergehend kann eine grobe Untergliederung des TEZG erfolgen: So wird der Süden des TEZG von devonischen Festgesteinen dominiert, während im Norden karbonische Gesteine anstehen.

Durch die intensive Falten- und Bruchtektonik folgen im südlichen TEZG überwiegend mitteldevonische geschieferte Festgesteine unterschiedlicher Ausprägung aufeinander. Dabei sind unter anderem Wechsel von tonig-schluffigen Sandsteinen zu schluffigen Tonsteinen oder auch kalkhaltigen Ton- und Schluffsteinen zu beobachten (IS GK 100). Im Bereich der Attendorn-Elsper Doppelmulde bei Meggen sind zwischen dem Ebbe-Sattel im Nordwesten und dem Ostsauerländer Hauptsattel im Nordosten mächtige mittel- bis oberdevonische Riffkalke sowie karbonische Tonsteine abgelagert (GD NRW 2017). Die steil absinkenden Nordflanken des Remscheid-Altenaer Sattels sowie des Ostsauerländer Hauptsattels markieren den Übergang von devonischen zu karbonischen Festgesteinen in schmalen, lang gezogenen Ausbisslinien wechselnder Formationen. Die karbonischen Schluff und Tonsteine im Norden des TEZG sind weniger deutlich gefaltet als die devonischen Schichten im Süden und weisen vornehmlich kleinräumige Strukturen auf (IS GK 100; GD NRW 2017). Ausnahmen bilden die herausgehobenen, komplexen Strukturen des Warsteiner Sattels sowie des Briloner Massenkalk-Komplexes, in deren Kernen devonische, verkarstete Riffkalke aufgeschlossen sind. Nach Westen, im Übergang zum Bergischen Land, ist das Karbon (hier auch als Ruhrkarbon bezeichnet) verstärkt durch Bruchtektonik gekennzeichnet. Südwest – Nordost streichende Überschiebungen (z. B. Ennepe- oder Satanela-Überschiebung), Nordnordwest – Südsüdost streichende Querstörungen oder auch Ost – West verlaufende Blattverschiebungen zergliedern den Untergrund (GD NRW 2017). Im Gegensatz zum Ostteil des TEZG sind den karbonischen Ton- und Schluffsteinen im westlichen Ruhrkarbon Steinkohleflöze und Sandsteine zwischengeschaltet, die oberflächennah anstehen. Mit Ausnahme der quartärzeitlichen

Ablagerungen entlang der Flusstäler überlagern erst im äußersten Westen des TEZG im Übergang zur Rheinebene mächtigere Lockergesteine des Quartärs das Ruhrkarbon.

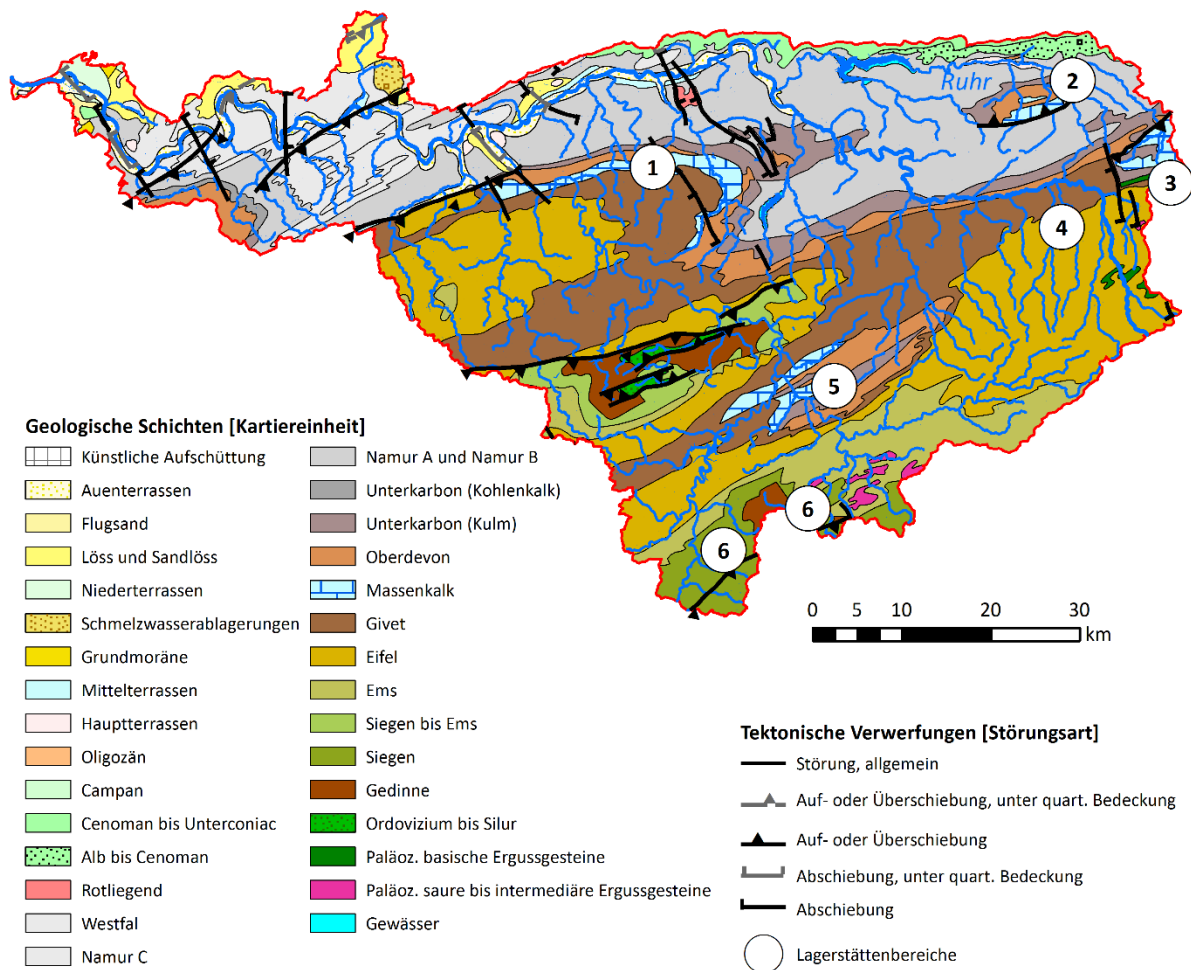


Abb. 23-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Ruhr

Die Festgesteine des Devons und Karbons bilden überwiegend gering bis sehr gering durchlässige Kluftgrundwasserleiter; infolgedessen fließen Niederschläge zu großen Anteilen bereits als Oberflächenabfluss in die Gewässer ab (MUNLV 2005 d). Durch das verstärkte Auftreten von Sandsteinen und Kohleflözen im Karbon können hier auch mäßige Durchlässigkeiten erreicht werden. Infolge der intensiven tektonischen Zerrüttung des Bereiches ist jedoch kein einheitlicher Grundwasserleiter ausgebildet (GD NRW 2017). Trotz der im Schnitt geringen Durchlässigkeit der Festgesteine lassen sich im Zusammenhang mit der umfangreichen tektonischen Beanspruchung auch Wasserwegsamkeiten in Form zahlreicher Quellaustritte an Schichtgrenzen oder Störungszonen beobachten. Im Bereich anstehender Massenkalke (z. B. Brilon, Warsteiner Sattel, Meggen) steigt die Durchlässigkeit der Gesteine durch Verkarstungserscheinungen deutlich an, sodass am Fuße entsprechender Strukturen Karstquellen austreten (DEUTLOFF 1978; IS HK 100). Quartärzeitliche Schotterkörper, die sich in den Flusstälern abgelagert haben, bilden Porengrundwasserleiter von mäßiger bis hoher Durchlässigkeit. Hier kann mitunter auch über längere Gewässerabschnitte eine Grundwasseranbindung der Oberflächengewässer verzeichnet werden (GD NRW 2017).

Lagerstätten und Mineralisation

Die Vererzungserscheinungen im TEZG der Ruhr sind vielschichtig und weitläufig sowohl in größeren als auch in kleineren Lokalitäten verbreitet. Neben Erzen des variszischen Mineralisationszyklus (überwiegend stratiform oder gangartig ausgebildet) sind auch postvariszische hydrothermale Vererzungen bekannt (SCHAEFFER 1986). Im Folgenden werden nur einzelne Vererzungsschwerpunkte angesprochen; eine vollständige und detailgenaue Beschreibung der Vorkommen kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Einzelheiten können z. B. in den Arbeiten von KIRNBAUER (1998), SCHAEFFER (1986) und WETTIG (1974) oder beim Königlichen Oberbergamt zu Bonn (1890) nachgelesen werden. Hinweise auf das Ausmaß der Bergbautätigkeiten geben unter anderem das ARGE Erzbergbau-Gutachten (ARGE Erzbergbau 2012) sowie das IS GDU.

Der Westen des TEZG Ruhr grenzt an das TEZG der Emscher, sodass die südlichen Ausläufer des **Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes**, das sich durch störungsgebundene Erz- und Gangminerale (Nachweise von z. B. Eisen, Blei, Kupfer; IS Erz) auszeichnet (PILGER 1961; vgl. Kap. 21 Lippe und Kap. 22 Emscher), bis in den (Nord-)Westen der Ruhr reichen.

Von Hagen über Iserlohn bis östlich von Hemer erstreckt sich der sogenannte **Nordbergische/Nordsauerländische Blei-Zink-Erzbezirk** (Abb. 23-2: Markierung 1) (ARGE Erzbergbau 2012). Durch hydrothermale und metasomatische Prozesse bildeten sich neben Blei-Zink-Gängen und Galmei (GD NRW 2017) auch Brauneisenstein- und Roteisensteinlager sowie Anreicherungen von Schwefelkies (ARGE Erzbergbau 2012). Im Osten von Hemer sind darüber hinaus Barytgänge im Plattenkalk bekannt (Königliches Oberbergamt zu Bonn 1890).

Der **Warsteiner Sattel** (Abb. 23-2: Markierung 2) ist bekannt für seine Brauneisen-, Roteisen- sowie Toneisensteine, die langfristig einer wirtschaftlichen Nutzung unterlagen (Warstein-Suttroper Roteisensteinbezirk; ARGE Erzbergbau 2012). Einhergehend mit der intensiven tektonischen Beanspruchung kam es unter anderem aber auch zur Ausbildung von gangförmigen Blei-, Zink- und Kupfererzen (SCHAEFFER 1986), die laut CLAUSEN & LEUTERITZ (1979) im Tertiär durch die Mobilisierung variszischer Primärlagerstätten entstanden. SCHAEFFER (1979) hält fest, dass im gesamten Warsteiner Raum Bleiglasurergänge anzutreffen sind (sowohl im Massenkalk als auch in seiner devonischen und karbonischen Umrandung), die mitunter durch Kupferkies begleitet werden. Zinkblende nimmt gegenüber dem Briloner Riffkomplex nur eine untergeordnete Rolle ein (SCHAEFFER 1979). Baryt ist als Gangart untergeordnet vertreten.

Bereits in Kapitel 21 (TEZG Lippe) wurde der **Briloner-Riffkomplex** (Abb. 23-2: Markierung 3) angesprochen, der auch als ‚Briloner Galmei-Distrikt‘ bekannt ist und bis in den Osten des TEZG Ruhr hineinreicht. Im Westen wird der Massenkalk-Komplex bei **Altenbüren** durch das Altenbürener Lineament begrenzt, welches sich wiederum durch epigenetische Markasit-Schwerspat-Zinkblende-Vererzungen auszeichnet. Im verwitterten Festgestein beiderseits der Störungszone wurden im Zuge von Flachbohrungen Anreicherungen von z. B. Blei und Zink sowie Kupfer und Arsen nachgewiesen (WERNER 1990).

Eingebettet in die überkippte Nordflanke des Ostsauerländer Sattels findet sich die **Blei-Zink-Erzlagerstätte Ramsbeck** (Abb. 23-2: Markierung 4) (BAUER et al. 1979). Es handelt sich um eine hydrothermale Ganglagerstätte, deren Erzbestand sich in mehreren Phasen entwickelte. Der variszische Hauptgangzug, bestehend aus mehr als 20 Gangsystemen, verläuft auf den Störungssystemen (Südwest – Nordost streichend) der mitteldevonischen quarzitischen Sandsteine (GD NRW 2017; PODUFAL 1996). Zwei weitere Gangzüge folgen im Hangenden. Der Mineralinhalt wird von Zinkblende, Pyrit und Bleiglanz dominiert, akzessorisch liegen aber auch Kupferkies und Arsenkies oder Zinnkies vor. Als Sekundärbildungen wurden örtlich z. B. Fahlerz oder auch Boulangerit nachgewiesen (PODUFAL 1996). Im Zuge tektonischer Bewegungen (bis ins Tertiär) bildeten sich Querstörungen aus, die die Lagerstätte in drei Teile – den Bastenberg, die Scheidt-Scholle und den Dörnberg – zergliederte. Jüngere Mineralisationen, wie z. B. Eisensulfide, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Nickel- und Silberminerale, grenzen die Querstörungen von den Vererzungen des Hauptgangzuges ab (PODUFAL 1996).

Die stratiformen Erze der Lagerstätte **Meggen** (Abb. 23-2: Markierung 5) sind an die Südflanke der Attendorn-Elssper Doppelmulde gebunden und im Zuge submarin-hydrothermalen Mineralisationen entstanden (KIRNBAUER 1998). Die Lagerstätte kann grob in zwei Zonen untergliedert werden: Im Zentrum liegen Sulfiderze – vorwiegend Pyrit, Zinkblende und Bleiglanz begleitet von z. B. Kupferkies oder Fahlerz – vor, die von Baryt umsäumt werden (KIRNBAUER 1998; ARGE Erzbergbau 2012).

Im Kreis Olpe sind verschiedene hydrothermale, störungsgebundene Erzgänge bekannt, die im Wesentlichen durch den **Olpeener und den Müssener Erzbezirk** (Abb. 23-2: Markierung 6) abgedeckt werden und als Ausläufer der Vererzungen im Siegerländer-Wied-Distrikt gelten (ARGE Erzbergbau 2012). Zahlreiche Gangzüge, wie z. B. der Vahlberger, Junkernberger und Altenberger Zug sowie der Rhonarder Gangzug, führen primär Spateisenstein. Die Eisenerze werden in wechselnder Menge von Kupfer- und Bleierzen (z. B. Kupferglanz, Kupferkies, Bleiglanz) oder auch Baryt begleitet. Des Weiteren liegen unter anderem Nachweise von Zinkblende, Nickelin oder Fahlerzen vor. Bei Silber und Varste dominieren bereichsweise Blei- und Kupfererze die Gangzüge (Königliches Oberbergamt zu Bonn 1890).

23.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 23-3 und Tabelle 23-1 wird ein Überblick über die im TEZG Ruhr abgegrenzten BE gegeben.

Bei einem Besiedlungsanteil von über 70 % liegen in der BE 02K1.3 (Quartär) nicht ausreichend unbeeinflusste Gewässermessstellen für eine Auswertung vor, sodass entsprechend der Präselektionskriterien (Kap. 8.2) keine HGW für die BE ermittelt werden können.

Durch die intensive tektonische Beanspruchung und Falten tektonik im TEZG der Ruhr liegen zahlreiche BE nur in Form lang gestreckter und schmaler oder auch kleinräumiger Ausbisse vor und weisen für eine Auswertung nicht ausreichend repräsentative Messstellen auf. Betroffen sind die BE 02M1, 08K3.1, 08P3 sowie 08V8. Im Fall der ebenfalls kleinräumigen BE 02K2.1 und 08P7 war eine Auswertung ausschließlich für Mangan aufgrund der höheren Datendichte sowie durch Zusammenschluss mit Datensätzen aus dem TEZG Rheingraben-Nord bzw. Lippe möglich.

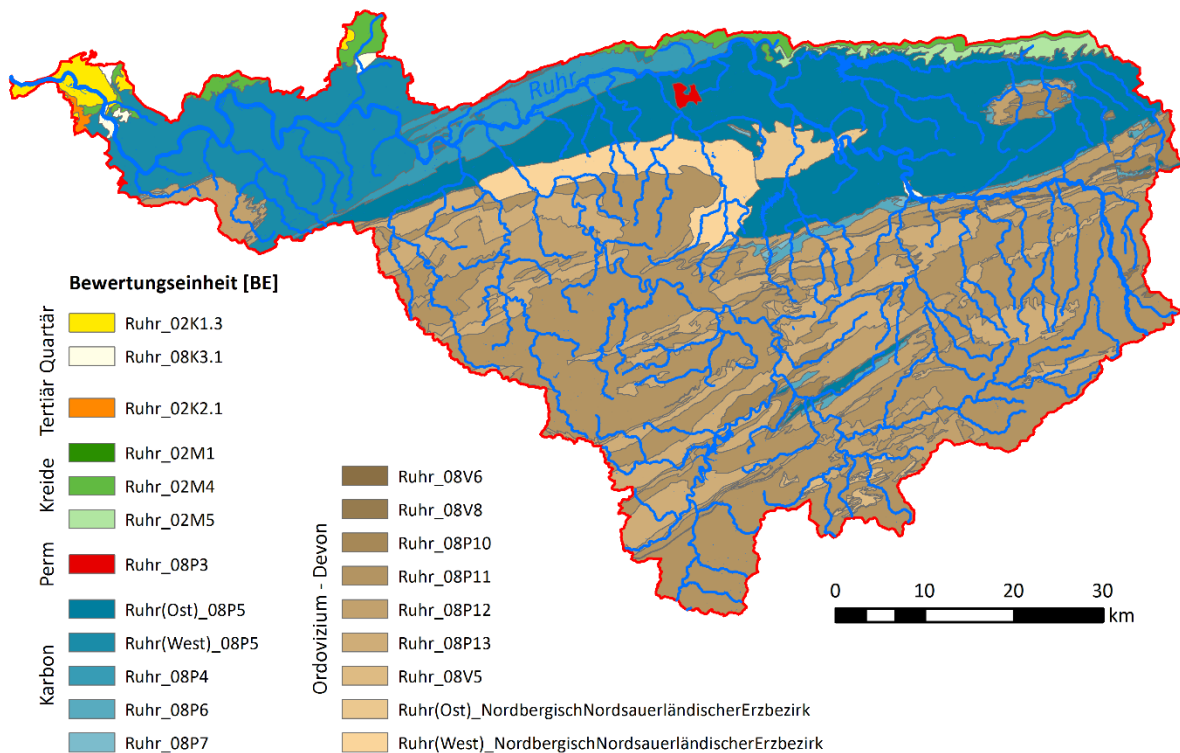


Abb. 23-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Ruhr

Auch im Bereich des Nordbergischen/Nordsauerländischer Blei-Zink-Erzbezirkes sind steil gestellte Schichten als schmale Ausbisslinien aufgeschlossen. Die Abgrenzung der BE erfolgt hier jedoch schichtübergreifend und orientiert sich an der Erzkomponente. Durch den Zusammenschluss der Schichten, basierend auf den Erzvorkommen, liegen hier ausreichend Datensätze für eine Auswertung vor. Bedingt durch eine geogene Barium-Anomalie im Osten des Bezirkes (IS Erz; z. B. KÜHNE 1979), wird die BE zusätzlich in einen Ost- und einen Westteil untergliedert.

In den Einheiten 02M4 und 02M5 (Oberkreide) liegen innerhalb des TEZG der Ruhr nicht ausreichend Datensätze für eine Auswertung vor. Da die Schichten aber bis in das TEZG der Emscher (BE 02M4) bzw. die TEZG Lippe, Diemel und Weser (BE 02M5) hineinreichen, können durch einen Zusammenschluss der jeweiligen BE dennoch HGW bestimmt werden.

Wie bereits in Kapitel 23.1 beschrieben, unterschieden sich die karbonischen Gesteine (BE 08P5) nicht nur tektonisch. Einschaltungen von Steinkohleflözen führen zu einer geochemischen Abgrenzung des West- und des Ostteiles der BE, sodass eine gesonderte Auswertung beider Bereiche erforderlich war.

Tab. 23-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Ruhr

Ruhr_		Fläche [km²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	37,2
08K3.1	quartäre Sande und Kiese	11,7
02K2.1	tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe (ohne Bk), östlicher Niederrhein	5,0
02M1	Unterkreide, silikatisch	2,1
02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	77,8
02M5	Oberkreide, karbonatisch	36,8
08P3	Rotliegend Sandsteine und Konglomerate	5,7
08P4	karbonische Sandsteine und Quarzite	168,7
(Ost)_08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	844,9
(West)_08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	440,3
08P6	karbonische Schiefer, karbonatisch	53,6
08P7	karbonische Karbonate	11,4
08P10	paläozoische Karbonate	73,5
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	1 523,1
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	450,1
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	520,8
08V5	paläozoische saure Vulkanite	18,6
08V6	paläozoische basische Vulkanite	6,0
08V8	Metavulkanite	2,5
(Ost)_NNErzbezirk	Nordbergisch-Nordsauerländischer Erzbezirk - GWK 276_14	43,3
(West)_NNErzbezirk	Nordbergisch-Nordsauerländischer Erzbezirk	142,6

23.3 Ergebnisse

In Tabelle 23-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 23-4 bis 23-9 in Karten dargestellt.

Die abweichende Ausbildung der östlich und westlich gelegenen karbonischen Ton- und Sandsteine (BE 08P5) spiegelt sich nicht nur in den Grundwasseranalysen wider, sondern ebenfalls in den HGW der Oberflächengewässer. Mit einem HGW von knapp 49 µg/l lassen sich in der BE Ost_08P5 die höchsten Zinkkonzentrationen im TEZG nachweisen und auch Arsen (HGW = 1,5 µg/l), Cadmium (HGW = 0,3 µg/l), Nickel (HGW = 4,9 µg/l) und Blei (HGW = 3,1 µg/l) sind geogen erhöht. Dies lässt sich zum einen in Bezug zu den geogen erhöhten Gehalten der karbonischen Tonsteine – z. T. auch Alaunschiefer – setzen. Laut HESEMANN et al. (1981) erreichen Tonsteine und Schwarzschiefer die höchsten mittleren Zink- und Arsengehalte und auch ALLOWAY (1999) bestätigt die höchsten Gehalte für Tonschiefer. Für Blei und Nickel werden von den genannten Autoren ebenfalls erhöhte Gehalte innerhalb der Tonsteine/-schiefer und Schwarzschiefer festgestellt. Darüber hinaus kann die geogene Komponente der Gesteine durch die Vorkommen von Blei- und Zinkerzen innerhalb des oberstromig gelegenen Briloner Massenkalk-Komplexes verstärkt werden. Vorkommen von Cadmium sind in der Regel an die Verbreitung von Zinkerzen gebunden und erklären so die höheren Cadmiumkonzentrationen. Moorbildungen entlang

des Höhenzuges des Plackwaldes (zwischen Meschede und Warstein) können die Mobilisierung von (Schwer-)Metallen aus den karbonischen Festgesteinen zusätzlich begünstigen.

In den devonischen Festgesteinen sind zahlreiche Vererzungen bekannt (vgl. Kapitel 23.1; z. B. Erzbezirke Ramsbeck, Olpe, Müsen), die einen natürlichen Eintrag von Metallen in das Grundwasser sowie die Oberflächengewässer begünstigen können. Ob die Metalle jedoch mobilisiert und bis in die Oberflächengewässer transportiert werden, ist unter anderem an die Wasserwegsamkeit der vererzten Zonen und ihre Anbindung an die Oberflächengewässer geknüpft. Künstliche Grubenwasserzuführungen in Form von Stolleneinleitungen wurden als anthropogene Überprägungen aus den Auswertungen ausgeschlossen; dazu wurden vornehmlich die Informationen zu Verdachts- und Hauptbelastungspunkten des Erzbergbaus aus dem Gutachten der ARGE Erzbergbau (2012) sowie Punktdaten zu Stollenmundlöchern aus dem IS GDU berücksichtigt. Im Rahmen der Auswertungen zeigte sich, dass (unter der vorliegenden Messstellenverteilung) die Erzreviere scheinbar keinen großräumigen Einfluss auf die geogene Konzentrationsverteilung in den unterstromig gelegenen Oberflächengewässern nehmen. Die leicht erhöhten Zinkkonzentrationen in den BE der devonischen Gesteine (HGW: 08P11 = 24,1 µg/l; 08P12 = 27,2 µg/l; 08P13 = 25,1 µg/l) scheinen vielmehr an ihre mineralogische Zusammensetzung geknüpft (WEDEPOHL 1995; HORNBURG 2003; HESEMANN et al. 1981; ALLOWAY 1999).

Um die ermittelten HGW weiterführend zu verifizieren, wurden einzelne Erzreviere (z. B. Ramsbeck, Olpe, Müsen) separat ausgewertet und mit den HGW der BE verglichen. Hierbei ließen sich keine größeren Abweichungen der HGW beobachten, sodass die ermittelten HGW der BE bestätigt werden konnten. Dennoch zeigte sich auch, dass an einzelnen Messstellen der Erzbereiche erhöhte Konzentrationen nachgewiesen wurden (vgl. z. B. maximale Zinkkonzentrationen der Normalpopulation in Tabelle 23-2), bei denen von einer natürlichen Ursache auszugehen ist. Da die entsprechenden Auswirkungen in den unterstromigen („unbeeinflussten“/geeigneten) Gewässermessstellen in der Regel nur kurzfristig zu beobachten waren (ggf. Verdünnung durch Niederschlag, Nebenflüsse, Ausfällung, ...) wirken sie sich nur unwesentlich auf das 90. Perzentil und damit den HGW der BE und auch der einzelnen Erzreviere aus. Im Fall von Blei konnte aufgrund zu hoher BG und damit einhergehender Datenauschlüsse (hier lagen verstärkt alte Datensätze vor, die aufgrund zu hoher BG nicht verwendet werden konnten; s. Kap. 8.2.4) keine genaue Prüfung der Erzreviere erfolgen. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass natürlich erhöhte Bleikonzentrationen im Bereich der Erzreviere durch die ermittelten HGW nicht vollständig abgebildet werden.

Eine Besonderheit im TEZG der Ruhr bildet die BE des Nordbergischen/Nordsauerländischen Erzbezirks, in der verschiedene steil stehende Schichten zusammengefasst wurden. Neben leicht erhöhten Zink-HGW (HGW = 21,5 µg/l) fällt besonders die geogene Barium-Anomalie im östlichen Abschnitt der BE auf, die im Zusammenhang mit Baryt-Gängen im Plattenkalk steht (vgl. Kap. 23.1). Durch die geringe Anzahl an Datensätzen (5 DS > BG) ist der ermittelte Barium-HGW als Orientierungswert zu verstehen (für eine statistisch gesicherte Aussage sind mehr als zehn Datensätze erforderlich), da sich das 90. Perzentil bei einer höheren Datendichte noch verschieben kann. Dennoch kann anhand des ermittelten Orientierungswertes eine geogene Überschreitung des Beurteilungswertes für Barium nachgewiesen werden.

Tab. 23-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Ruhr														(Ost) NN-Erz	(West) NN-Erz	
		02K2.1	02M4	02M5	08P4	(Ost) 08P5	(West) 08P5	08P6	08P7	08P10	08P11	08P12	08P13	08V5	08V6			
Ag	n > BG					9						14		6				
	50. P.					0,001						0,001		0,000				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,007	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,008	n.a.	0,005	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					0,048						0,058		0,110				
As	n > BG		15	6	6	30	11	23		5	55	20	17	7	7	17	17	
	50. P.		1,2	0,1	0,2	0,4	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	
	90. P.	n.a.	1,9	0,4	0,5	1,5	0,3	0,4	n.a.	0,4	0,2	0,4	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Max. N.		1,9	0,8	0,8	2,7	0,9	0,4		0,9	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	1,2	1,2	
B	n > BG		9		17	20	13	7			22	7	10			5	5	
	50. P.		64,7		47,5	18,8	39,6	3,7		3,7	3,8	1,4			8,8	8,8		
	90. P.	n.a.	123,2	n.a.	70,8	39,8	83,5	15,9	n.a.	n.a.	9,0	16,3	8,6	n.a.	n.a.	26,3	26,3	
	Max. N.		150,0		77,0	80,0	110,0	59,0			24,0	59,0	56,0			57,0	57,0	
Ba	n > BG		9	15	16	74	15	42		8	103	39	43	12	12	5	19	
	50. P.		54,8	27,3	31,3	21,1	24,8	24,4		14,1	18,6	24,2	16,7	13,1	13,1	88,8	24,0	
	90. P.	n.a.	75,9	58,8	41,6	39,7	33,4	54,6	n.a.	34,1	38,6	53,9	42,8	24,9	24,9	168,6	34,3	
	Max. N.		85,0	64,0	43,0	45,0	31,0	120,0		48,0	64,0	120,0	80,0	27,0	27,0	184,0	43,0	
Be	n > BG					11					9							
	50. P.					0,01					0,00							
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,05	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.					0,26					0,36							
Cd	n > BG		8	8	12	39	6	30		5	81	27	32			18	18	
	50. P.		0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01		0,00	0,01	0,01	0,01			0,01	0,01	
	90. P.	n.a.	0,09	0,05	0,07	0,30	0,07	0,10	n.a.	0,20	0,03	0,08	0,04	n.a.	n.a.	0,09	0,09	
	Max. N.		0,22	0,10	0,20	2,00	0,10	0,50		0,07	0,10	0,50	0,11			0,40	0,40	
Co	n > BG		8	10	15	40	9	26		10	74	21	26	6	6	9	9	
	50. P.		0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	90. P.	n.a.	0,4	0,6	0,4	0,7	0,3	0,2	n.a.	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	
	Max. N.		0,6	0,3	0,6	1,4	0,7	0,7		0,7	0,7	0,4	0,4	0,3	0,3	0,7	0,7	
Cr	n > BG										54	12	20			8	8	
	50. P.										0,1	0,0	0,2			0,2	0,2	
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,9	0,6	0,7	n.a.	n.a.	0,6	0,6	
	Max. N.										2,9	2,0	1,3			1,4	1,4	
Cu	n > BG		15	23	14	495	90	16		16	111	256	41	13	13	53	53	
	50. P.		1,6	0,8	1,6	1,0	1,8	1,1		1,3	0,8	0,8	0,9	0,5	0,5	1,1	1,1	
	90. P.	n.a.	3,1	2,0	2,7	2,3	2,8	2,3	n.a.	3,1	3,1	2,5	3,1	1,9	1,9	3,0	3,0	
	Max. N.		3,5	3,0	3,7	6,3	3,7	3,3		6,0	10,0	13,5	7,6	3,3	3,3	7,2	7,2	
Fe	n > BG		14	8	18	62	19	40		5	150	36	57	12	12	9	12	
	50. P.		0,4	0,0	0,3	0,2	0,2	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	
	90. P.	n.a.	0,9	0,1	0,8	0,9	0,8	0,3	n.a.	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,5	0,3	
	Max. N.		1,3	0,3	1,5	2,2	1,5	1,0		0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	1,3	0,5	
Hg	n > BG										5							
	50. P.										0,000							
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,001	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.										0,016							

Fortsetzung von Tabelle 23-2

Parameter	Kennwert	Ruhr														(Ost) NN-Erz	(West) NN-Erz
		02K2.1	02M4	02M5	08P4	(Ost) 08P5	(West) 08P5	08P6	08P7	08P10	08P11	08P12	08P13	08V5	08V6		
Mn	n > BG	19	21	8	29	132	39		8	8	135	56	54	11	11	34	34
	50. P.	86,0	65,2	0,2	35,4	28,9	25,7		1,2	1,2	4,4	7,7	2,1	4,9	4,9	8,9	8,9
	90. P.	250,4	188,6	5,4	81,3	76,8	79,0	n.a.	20,1	20,1	32,5	44,1	26,8	72,7	72,7	38,0	38,0
	Max. N.	220,0	160,0	47,0	68,0	150,0	110,0		130,0	130,0	83,0	180,0	349,0	259,0	259,0	127,0	127,0
Mo	n > BG		31		19	55	22			21	81	21	81			29	29
	50. P.		1,0		0,4	0,2	0,5			0,1	0,0	0,1	0,0			0,2	0,2
	90. P.	n.a.	1,9	n.a.	1,5	0,5	1,5	n.a.	n.a.	0,2	0,2	0,2	0,2	n.a.	n.a.	0,5	0,5
	Max. N.		2,3		1,4	0,7	2,8			0,3	4,7	0,3	4,7			1,0	1,0
Ni	n > BG		20	11	21	66	22				96	28	25	6	6	33	33
	50. P.		2,0	0,5	1,9	2,0	1,4				0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	1,2	1,2
	90. P.	n.a.	3,2	2,6	3,0	4,9	3,2	n.a.	n.a.	n.a.	3,7	2,8	1,6	2,3	2,3	4,3	4,3
	Max. N.		3,9	6,3	3,6	11,0	4,7				15,0	3,3	2,5	3,8	3,8	13,0	13,0
Pb	n > BG		10	7	16	36	18	36		6	79	36	37	7	7	13	13
	50. P.		0,4	0,3	0,5	0,4	0,5	0,3		0,1	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,5	0,5
	90. P.	n.a.	1,8	1,5	1,4	3,1	2,0	1,0	n.a.	3,8	1,3	1,0	1,0	0,9	0,9	1,2	1,2
	Max. N.		2,7	2,6	2,4	15,0	4,4	2,4		11,0	4,2	2,4	1,7	1,4	1,4	2,3	2,3
Se	n > BG		5			8					7					9	9
	50. P.		0,7			0,1					0,1					0,4	0,4
	90. P.	n.a.	1,2	n.a.	n.a.	0,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,9	0,9
	Max. N.		1,4			1,9					1,0					0,9	0,9
SO ₄	n > BG		19	20	18	64	34	83		11	200	79	60	14	11	25	25
	50. P.		100,7	23,5	49,7	22,6	43,7	24,4		19,7	18,6	24,7	17,6	17,5	26,0	30,8	30,8
	90. P.	n.a.	161,4	35,7	72,2	36,7	70,1	42,6	n.a.	26,6	30,6	43,2	24,7	34,7	41,9	38,9	38,9
	Max. N.		177,0	36,0	83,0	63,0	72,0	66,0		31,0	55,0	66,0	30,0	45,0	45,0	43,4	43,4
Ti	n > BG					12	12				22		16				
	50. P.					1,1	1,1				0,8		2,2				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4,0	4,0	n.a.	n.a.	n.a.	2,3	n.a.	11,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					4,3	4,3				4,6		36,5				
Tl	n > BG		8		5	16	5	7			15	7	5			8	8
	50. P.		0,01		0,01	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00			0,01	0,01
	90. P.	n.a.	0,02	n.a.	0,01	0,01	0,01	0,01	n.a.	n.a.	0,00	0,01	0,00	n.a.	n.a.	0,03	0,03
	Max. N.		0,03		0,02	0,05	0,03	0,18			0,08	0,18	0,01			0,06	0,06
U	n > BG		21	19	31	18	14	22		9	65	22	31	8	8	16	16
	50. P.		0,58	0,15	0,08	0,02	0,17	0,02		0,11	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,18	0,18
	90. P.	n.a.	1,33	0,29	0,31	0,18	0,50	0,14	n.a.	0,27	0,08	0,14	0,12	0,19	0,19	0,57	0,57
	Max. N.		1,90	0,42	0,80	0,62	0,58	0,21		0,39	0,18	0,21	0,29	0,35	0,35	1,10	1,10
V	n > BG		12	6	7	8	9	9			38	9	10			5	5
	50. P.		1,3	0,5	0,4	0,0	0,1	0,1			0,0	0,1	0,1			0,0	0,0
	90. P.	n.a.	2,4	0,9	1,3	0,1	0,8	0,3	n.a.	n.a.	0,2	0,3	0,2	n.a.	n.a.	0,5	0,5
	Max. N.		2,1	1,0	2,3	1,1	2,4	0,9			2,4	0,9	0,7			1,9	1,9
Zn	n > BG		9	19	21	445	64	15		15	882	292	273	12	12	50	50
	50. P.		3,5	3,2	5,9	19,9	11,3	8,8		4,7	7,7	8,4	7,0	3,5	3,5	8,1	8,1
	90. P.	n.a.	19,3	8,2	12,6	48,9	24,0	17,9	n.a.	32,8	24,1	27,2	25,1	16,0	16,0	21,5	21,5
	Max. N.		36,0	11,0	20,0	160,0	43,0	26,0		67,0	110,0	130,0	160,0	28,0	28,0	52,0	52,0

Darüber hinaus wird eine Überschreitung des Beurteilungswertes von Barium im Gleibach (DERW_DENW_2766198_0_5) bei Lennestadt beobachtet. Bariumnachweise in der Geologischen Karte von NRW 1 : 25 000, Blatt 4814 Lennestadt (CLAUSEN 1977) weisen hier ebenfalls auf eine geogene Komponente hin, die jedoch durch Stolleneinleitungen anthropogen überprägt sein kann. Unter der vorliegenden Messpunktverteilung war eine differenzierte Auswertung des Bereiches nicht möglich.

Im Fall von Silber kann eine natürliche Konzentrationserhöhung anhand der Auswertungen weder bestätigt noch widerlegt werden, da nicht ausreichend Datensätze über der BG für eine gesicherte Auswertung zur Verfügung stehen. Dies galt auch für die kleinräumigeren Vergleichsauswertungen der Erzreviere, in denen Silber als Nebenelement bekannt ist (ARGE Erzbergbau 2012).

Anders als die devonischen Festgesteine weisen die Massenkalk des Warsteiner Sattels und des Briloner Riffkomplexes hohe Durchlässigkeiten auf, sodass auch eine verstärkte Beeinflussung der Oberflächengewässer durch die vorliegenden Erzkomponenten erwarten werden kann. Entsprechend der Nachweise von z. B. Zinkblende, Galmei und Bleiglanz in den paläozoischen Karbonaten, sind die ermittelten Zink-HGW und damit einhergehend die Cadmium- sowie die Blei-HGW in den Oberflächengewässern erhöht (vgl. Tab. 23-2). Dies wurde bereits bei Betrachtung der HGW in den karbonischen Ton- und Sandsteinen (BE Ost_08P5) angedeutet und kann an dieser Stelle bestätigt werden. Ein HGW von 235 µg/l (Zink) im Grundwasser in der HGC 08P10 stützt das Ergebnis zusätzlich (HGW Gw 2012). Im Fall von Cadmium konnten im Rahmen der ergänzenden Beprobungen der Fließgewässer (Kap. 7) Konzentrationen von 0,36 bzw. 0,44 µg/l (Gesamtgehalt) in den Karbonaten gemessen werden. Als obere Anomalie wurden die entsprechenden Werte im Wahrscheinlichkeitsnetz extrapoliert berücksichtigt. Es ist festzuhalten, dass in der BE nur wenige Cadmium-Messungen vorlagen. Es besteht die Möglichkeit, das Cadmium-Ergebnis durch zusätzliche und gezielte Messungen weiterführend statistisch abzusichern.

Die höchsten Mangan-HGW des TEZG wurden innerhalb der BE 02K2.1 ermittelt (250,4 µg/l). Hier sind aufgrund der Tongehalte sowie organischer Einlagerungen lithologiespezifisch geogen erhöhte Konzentrationen zu erwarten. Der Mangan-HGW im Grundwasser (384 µg/l; HGW Gw 2012) bestätigt den HGW der BE.

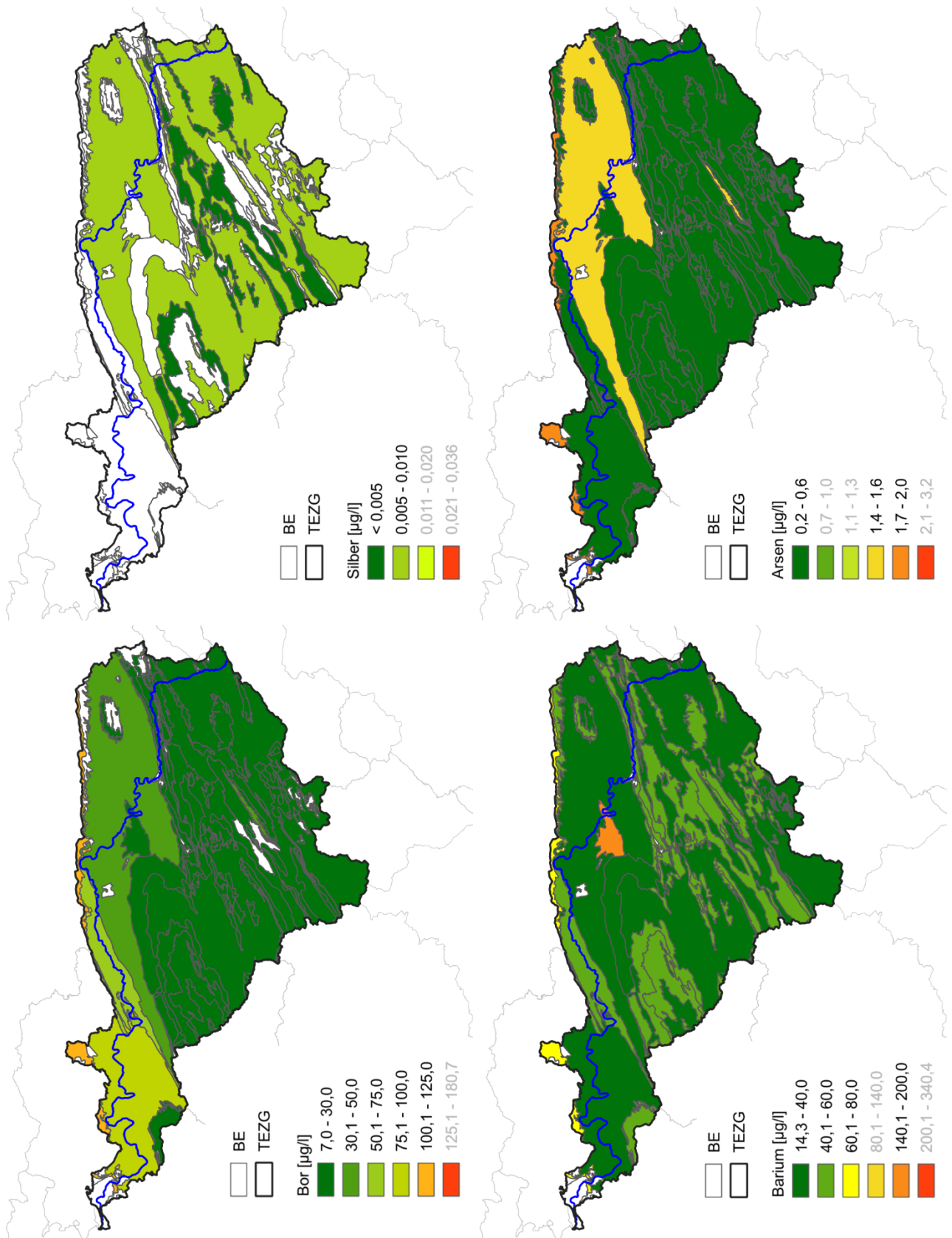


Abb. 23-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE des TEZG Ruhr

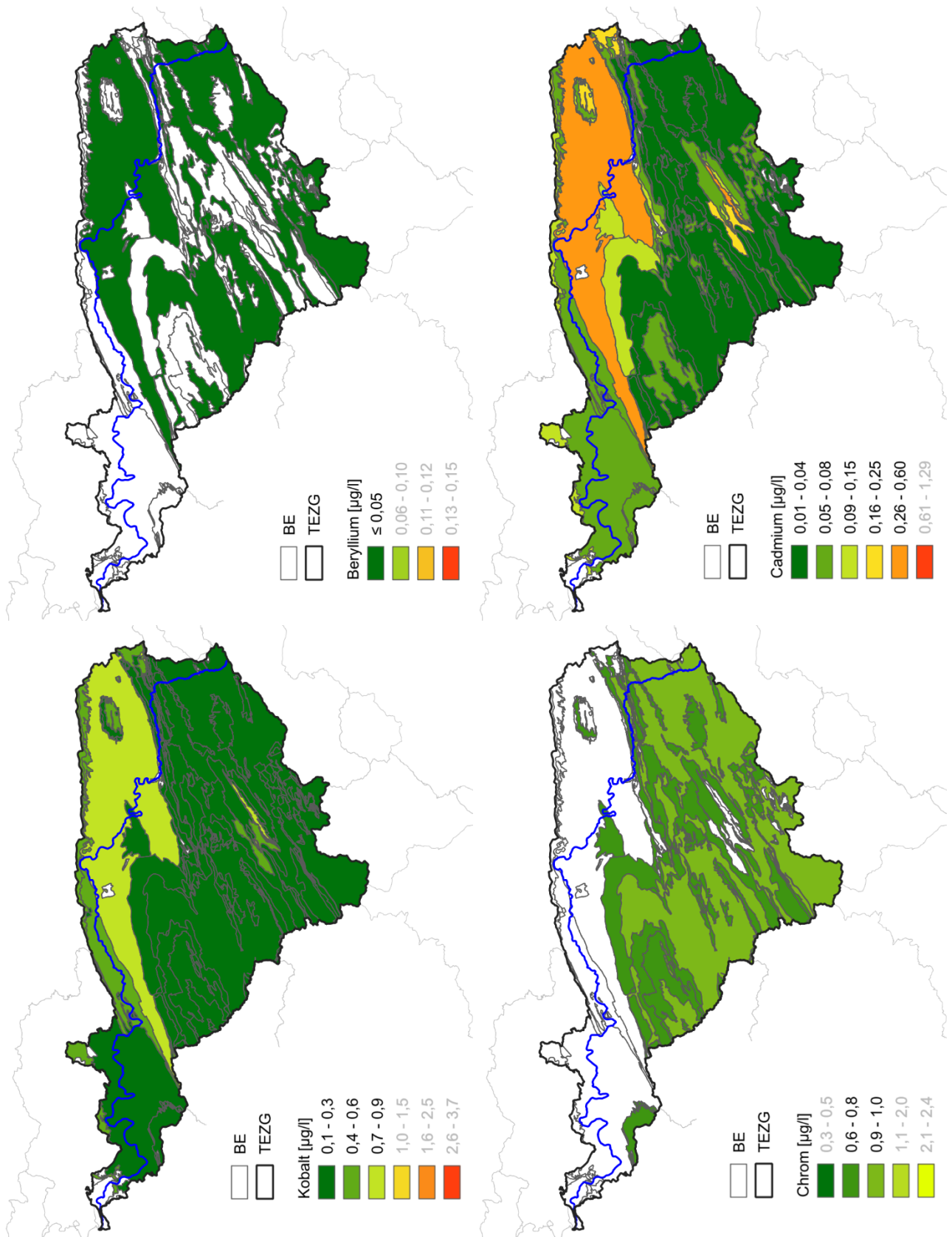


Abb. 23-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Ruhr

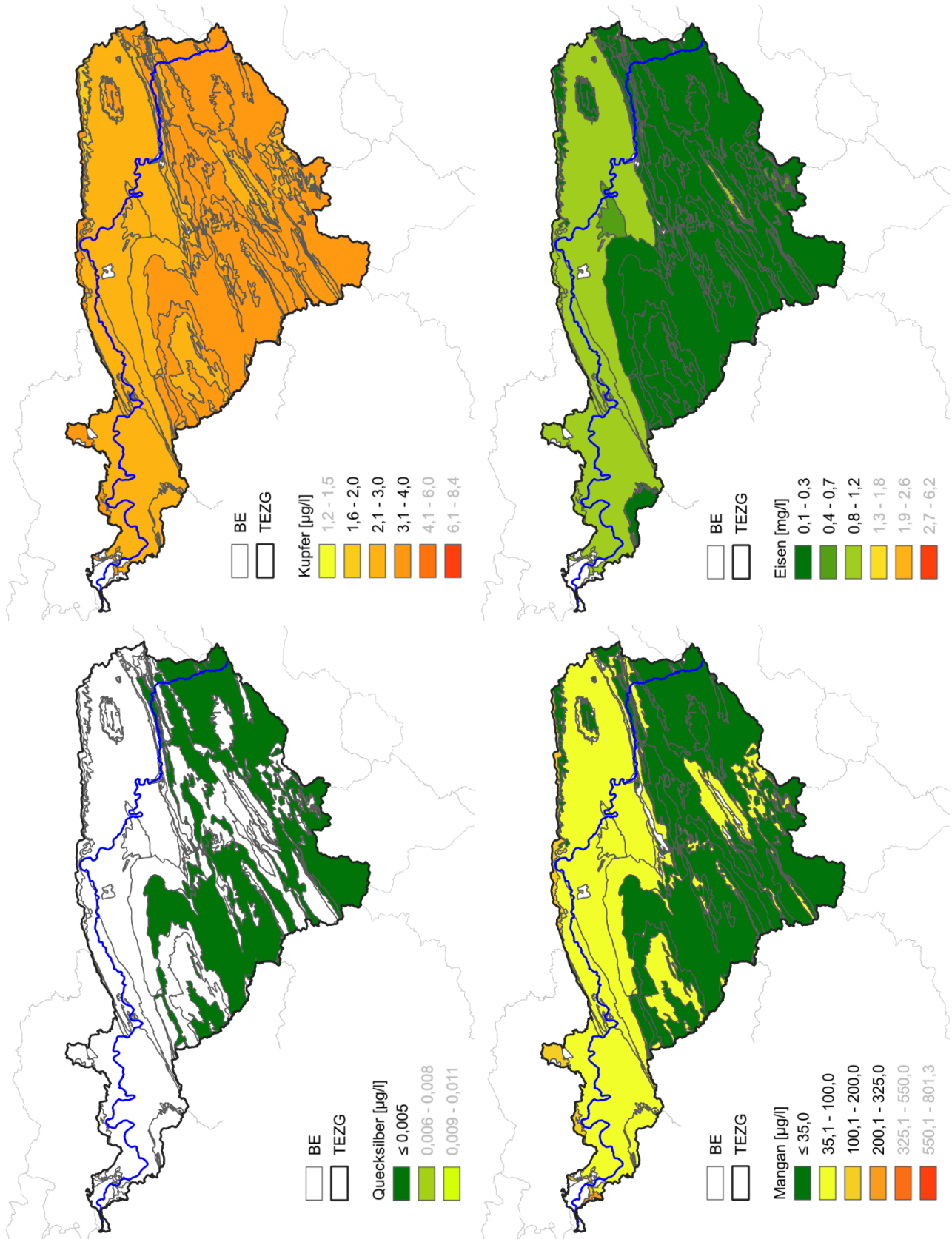


Abb. 23-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE des TEZG Ruhr

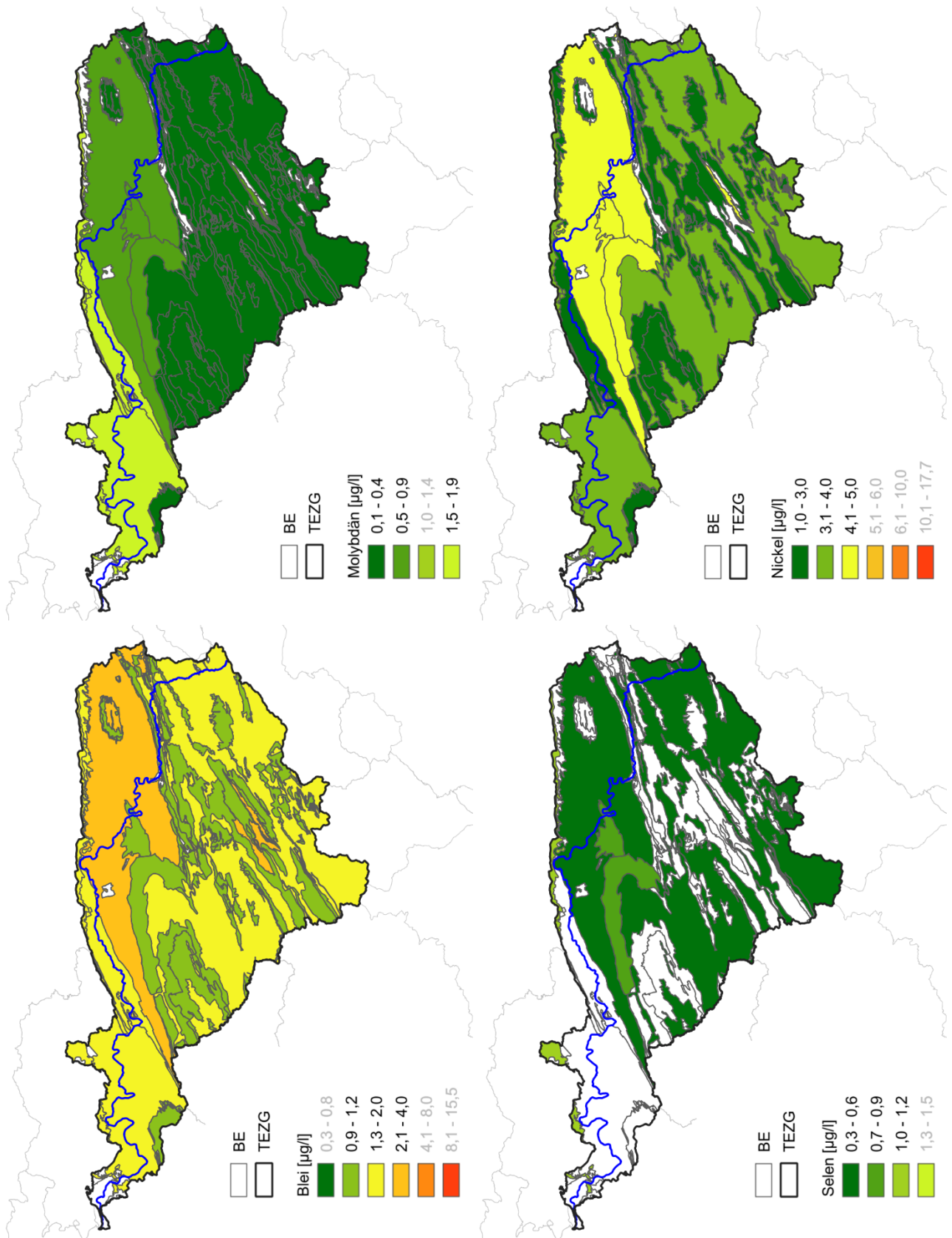


Abb. 23-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE des TEZG Ruhr

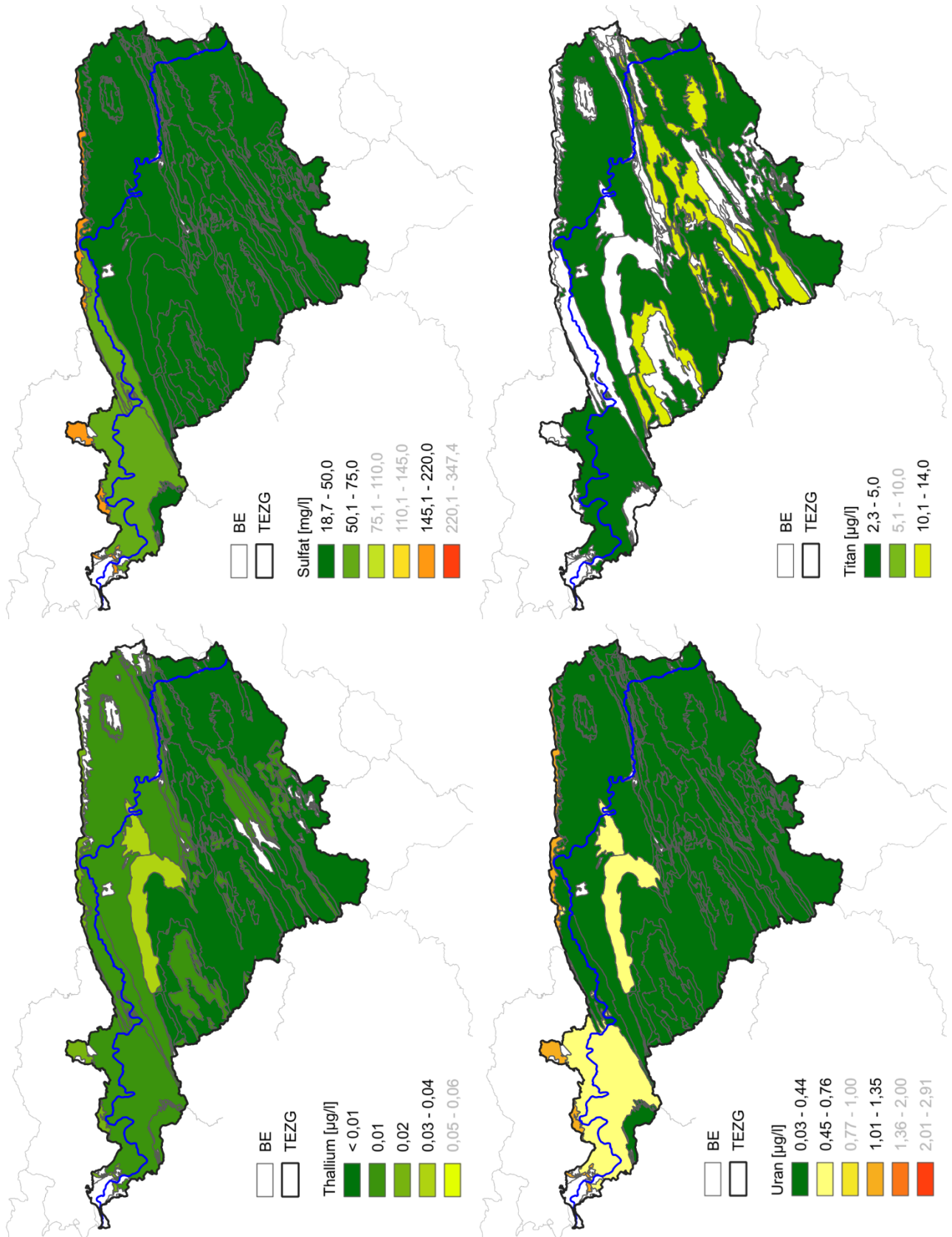


Abb. 23-8: HGW_{ges} für Sulfat, Titan, Thallium und Uran in den BE des TEZG Ruhr

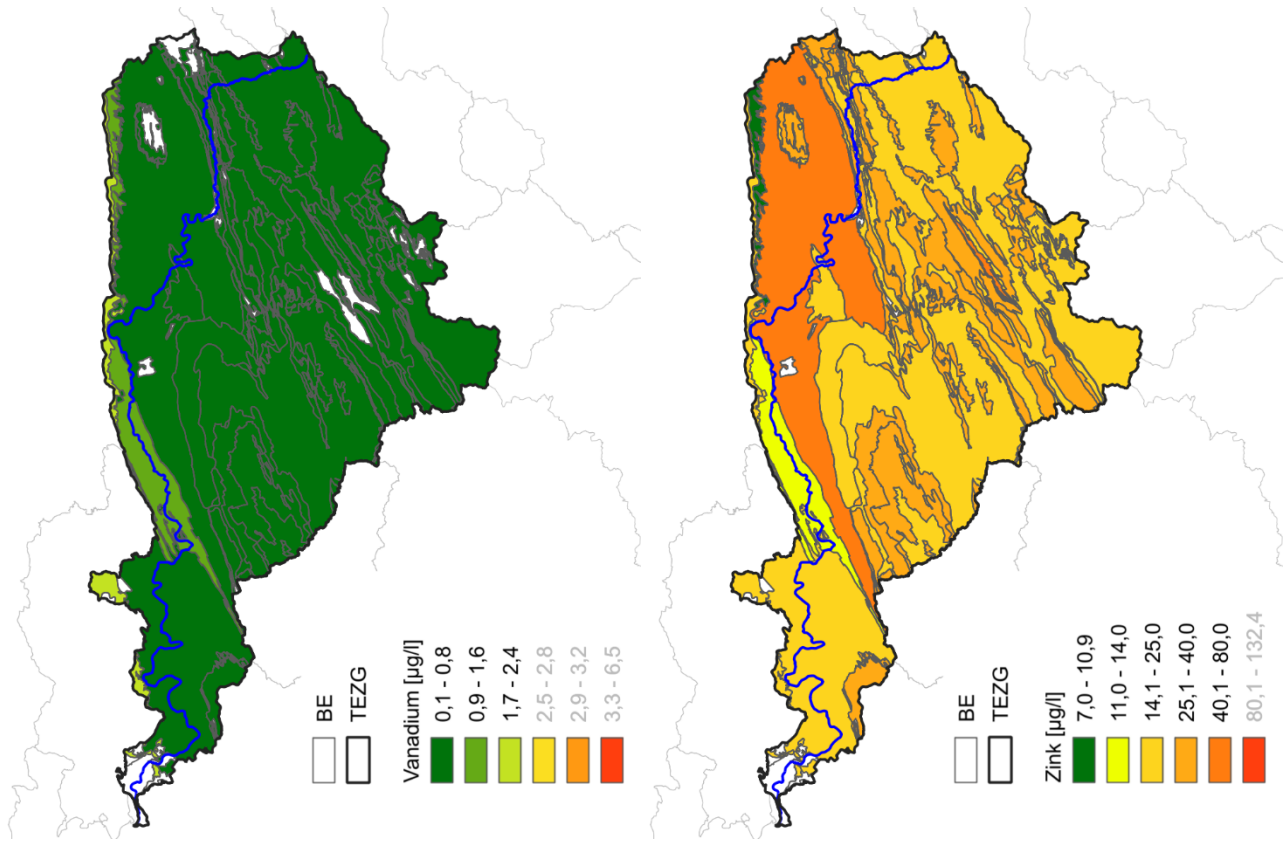


Abb. 23-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE des TEZG Ruhr

24 Wupper

24.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Wupper nimmt eine Größe von knapp 813 km² ein und wird fast zur Gänze dem Bergischen Land (Bergische Hochflächen) zugeordnet. Erst der westliche Randbereich des TEZG greift in die Nieder-rheinische Bucht hinein. In Abbildung 24-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 24-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.

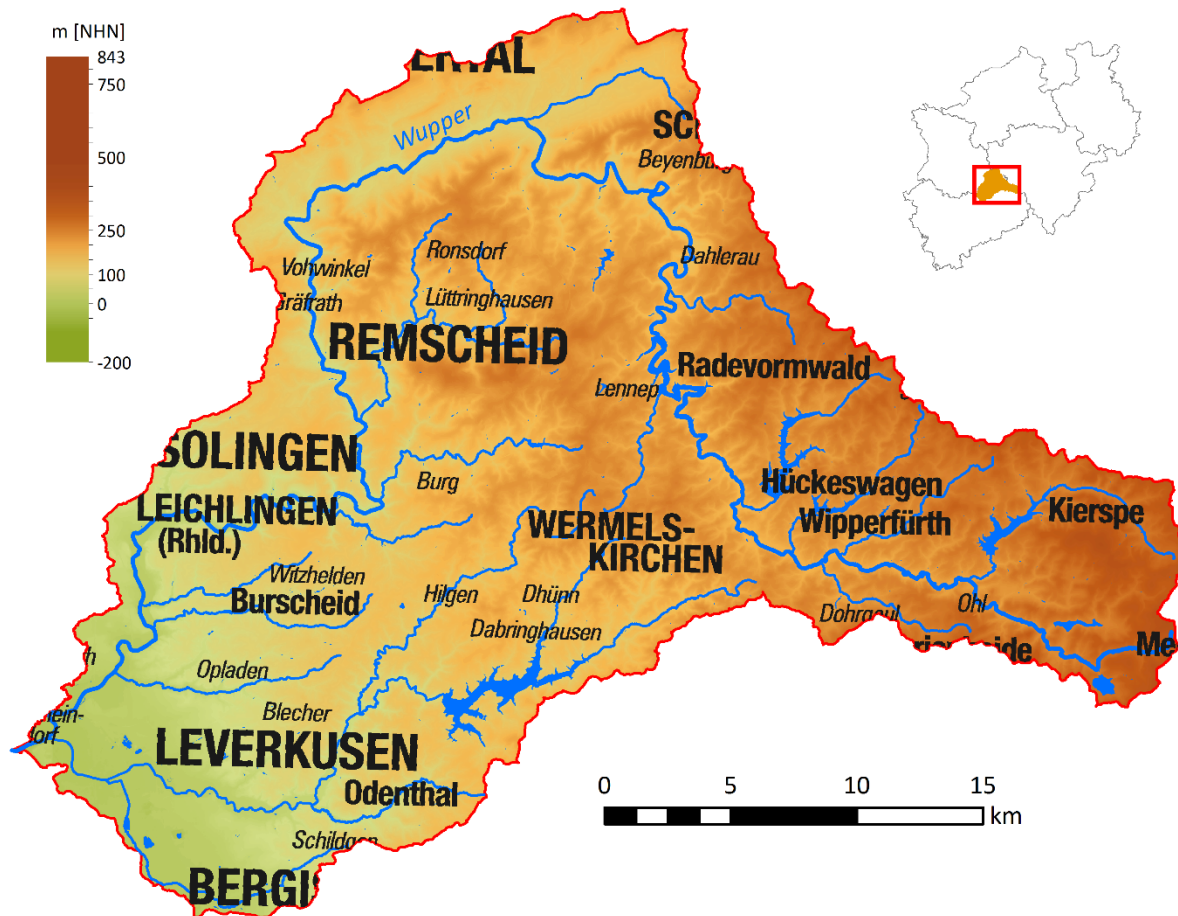


Abb. 24-1: TEZG Wupper

Das Wipperquellgebiet bei Kierspe bildet im Südosten des TEZG den höchsten Punkt mit bis zu 470 m ü. NHN. Die flachen Kuppen und Hochebenen der Bergischen Hochflächen werden von den Tälern der Wupper und ihrer Nebenflüsse durchzogen. Im Stadtgebiet Wuppertals ist die Wupper durch einen kastenförmigen Uferverbau komplett eingefasst und ihre Zuflüsse sind verrohrt (MUNLV 2005 g; ATKIS). Im Flachlandbereich (40 bis 60 m ü. NHN) mündet die Wupper schließlich bei Leverkusen-Rheindorf in den Rhein (WMS DTK 10). Mithilfe von 14 Talsperren (z. B. Kerspe-, Neye-, Bever-, Wupper-, Große Dhünntalsperre) wird im TEZG die Trinkwasserversorgung sichergestellt sowie der Abfluss der Gewässer reguliert (Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung) (Wupperverband).

Die Flächennutzung im TEZG der Wupper unterscheidet sich räumlich. Während der südöstliche Bereich des TEZG im Oberlauf der Gewässer von Waldflächen sowie Grünland dominiert wird, nimmt im Unterlauf der Flüsse (Nordwesten/Westen) der städtische Flächenanteil und der Versiegelungsgrad zu (Ballungsräume Wuppertal, Remscheid, Solingen, Leverkusen) (MUNLV 2005 g).

Geologie/Hydrogeologie

Als Teil des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges wird das TEZG der Wupper maßgebend aus paläozoischen (devonischen) Festgesteinen aufgebaut, die durch die Senkung der Niederrheinischen Bucht im Westen des TEZG von tertiär- und quartärzeitlichen Lockergesteinen überlagert sind.

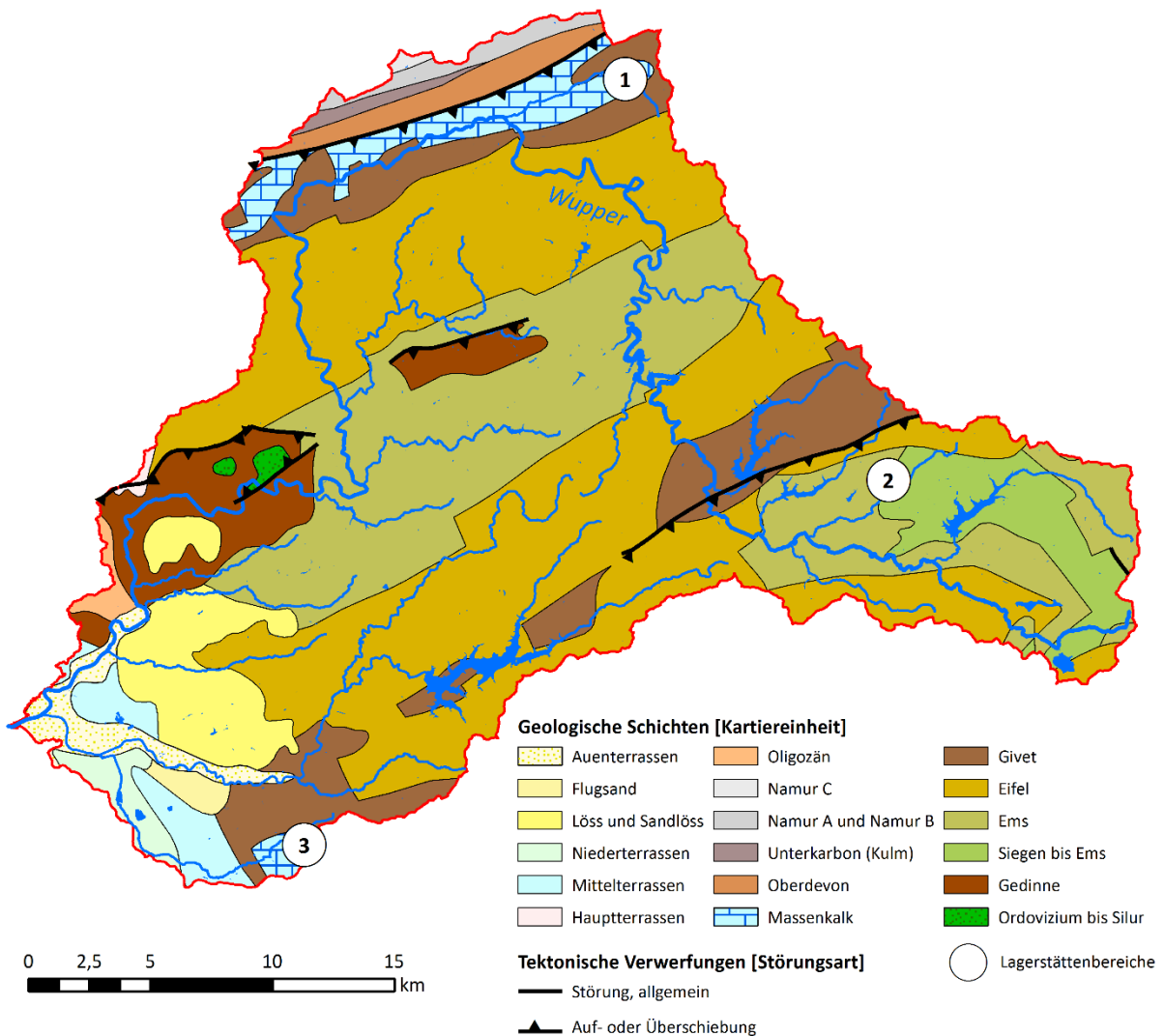


Abb. 24-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Wupper

Strukturell wird das TEZG durch den Faltenbau des Rheinischen Schiefergebirges sowie durch zahlreiche (Quer-)Störungen geprägt. Als maßgebliche Struktur verläuft der Remscheider Sattel von Südwesten nach Nordosten durch das TEZG. In südöstliche Richtung schließt sich zunächst die Lüdenscheider Mulde

an, ehe diese in den Ebbe-Sattel übergeht (GD NRW 2012). Im südwestlichen Abschnitt reicht das TEZG zudem in einen kleinen Teil der Paffrather Mulde hinein. Nach Norden wird es durch die Ennepe-Überschiebung von den karbonischen Festgesteinen des Niederbergisch-Märkischen Hügellandes abgegrenzt.

In den Sattelkernen sind geschieferte, schluffig bis sandig ausgebildete Tonsteine sowie Schluffsteine des Unterdevons aufgeschlossen, in deren oberen Abschnitten örtlich Quarzkeratophyre und -tuffe eingeschaltet sind (IS GK 100). Südlich von Solingen treten in mehreren Sattelaufbrüchen auch ordovizische Tonsteine zutage (GD NRW 2012). An den Sattelflanken stehen kalkhaltige, geschieferte Ton- und Schluffsteine des Mitteldevons an, die in Sandsteine der Unteren Honsel-Schichten (Givet) übergehen. Im Norden (Wuppertal/Schwelm) bzw. Süden (Paffrather Mulde) des TEZG sind kleinräumig verkarstete Kalkgebiete (Massenkalk) anzutreffen (MUNLV 2005 g; IS GK 100). Im Westen dominiert die Terrassenlandschaft der Rheinniederungen, deren Lockergesteine im Übergang zum Devon eine Lössüberdeckung aufweisen, das TEZG.

Die devonischen Kluftgrundwasserleiter zeichnen sich durch geringe bis sehr geringe Durchlässigkeiten aus, sodass im Verlauf der Gewässer überwiegend keine Anbindung an das Grundwasser besteht. Ausnahmen bilden Bereiche quartärzeitlicher Porengrundwasserleiter, also primär im Westen des TEZG (IS HK 100). Auch zahlreiche Quellaustritte erweisen sich in diesen Bereichen nur als geringschüttend und können in andauernden Trockenperioden versiegen (GD NRW 2012). Eine Besonderheit bildet hier das Wipperquellgebiet (oder auch Wupper-Quellgebiet), welches als Hangquellmoor oberflächennahes Grund- und Hangwasser sammelt und in „zahlreichen kleinen Quellen und Gerinnen“ wieder abgibt (GD NRW 2012).

Lagerstätten und Mineralisation

In der Niederschrift „Heimischer Bergbau [...] in und um Hückeswagen“ (BERG 2008) werden zahlreiche Gruben und Pingenzüge (u. a.) beschrieben, in denen in den letzten Jahrhunderten Erze gewonnen wurden. Dabei werden unter anderem Funde zu Eisen-, Zink-, Kupfer- und Bleierzen oder auch Silber dokumentiert. Beispiele wie die Gruben Quaste oder Conrad am Leiverbach (nördlich von Hückeswagen; vorwiegend Kupfererze) oder die Bleierzgrube Primus an der Kleinen Dhünn zeugen von den Erzvorkommen im TEZG der Wupper. Es wird aber auch deutlich, dass es sich weitestgehend um kleinräumige Lagerstätten mit geringer Erzmenge handelt.

Größere Lagerstätten sind ausschließlich in den Bereichen der Schwelme, des Kupferberges und der Paffrather Kalkmulde bekannt.

Die **Schwelmer Eisen- und Zinklagerstätten** (Abb. 24-2: Markierung 1) sind an die Vorkommen des Massenkalks gebunden und entstanden entlang der Verwerfungszonen und in Hohlräumen durch aufsteigende sulfidische Lösungen. Besondere Anreicherungen lassen sich in Dolinenstrukturen des Massenkalks beobachten. Neben Sulfiden (z. B. Schwefelkies, Zinkblende und untergeordnet Bleiglanz)

sind vor allem Oxidationserze (Brauneisenerze) vorhanden. Auch in Quellen lassen sich hier entsprechend hohe Eisenkonzentrationen nachweisen (FUCHS & PAECKELMANN 1979).

Die Erzvorkommen bei **Kupferberg** (Abb. 24-2: Markierung 2) konzentrieren sich im Wesentlichen auf vier Ost – West streichende Gangzüge. Auf den Danielszug (bei Kupferberg) folgen in westlicher Richtung der Ackerzug und schließlich der Silberzug (südlich von Kreuzberg). Nördlich des Danielszuges verläuft parallel der Wilhelminenzug (NEHLS 1993). Die Gangfüllungen setzten sich vornehmlich aus Quarz und Kupferkies zusammen. Untergeordnet liegen auch Bleiglanz, Zinkblende, Beimengungen von Schwefelkies sowie Spateisenstein vor (GRAEFF 1942).

Der nordwestliche Randbereich der **Paffrather (Kalk-)Mulde** (Abb. 24-2: Markierung 3) reicht stellenweise bis in das TEZG der Wupper hinein. Auf ihre Erzvorkommen werden in Kapitel 18.1 eingegangen.

24.2 Bewertungseinheiten

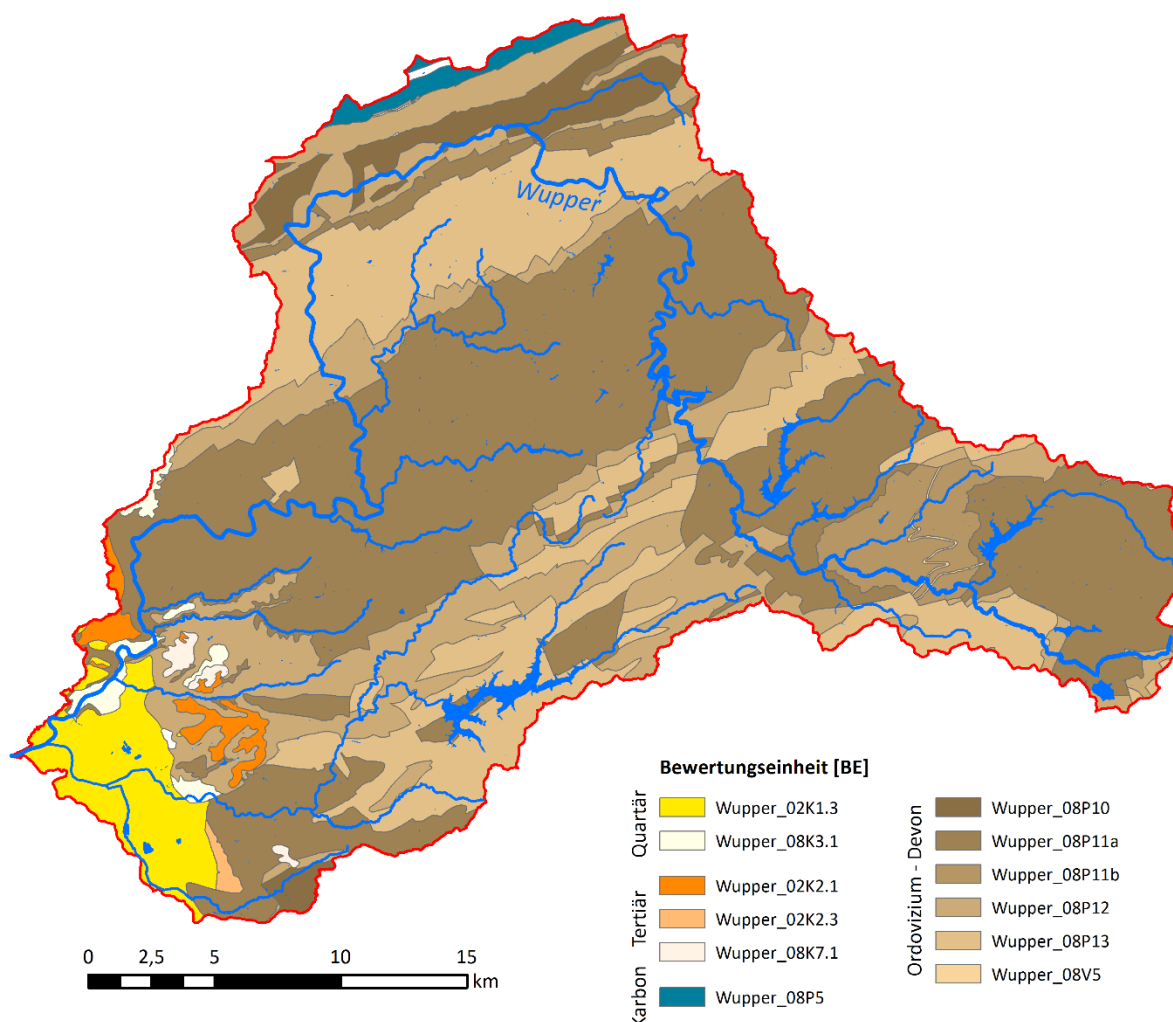


Abb. 24-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Wupper

In Abbildung 24-3 sowie Tabelle 24-1 wird ein Überblick über die im TEZG Wupper abgegrenzten BE gegeben.

Mehr als 80 % der BE 08P10 wird in ATKIS als Siedlungsfläche ausgewiesen (Stadtgebiet Wuppertal). Hier greift somit im Rahmen der Präselektion (Kapitel 8.2) das Besiedlungskriterium und es konnte keine Auswertung der BE erfolgen. Die BE 08P5 (Karbon) und 02K1.3 (Quartär) fallen mit einem Besiedlungsanteil von mehr als 60 % (aber weniger als 80 %) in den Grenzbereich des Besiedlungskriteriums. Da jedoch die notwendige Anzahl von mindestens fünf unbeeinflussten Messstellen nicht gegeben war, konnten auch hier keine HGW ermittelt werden. In den BE 02K2.1, 02K2.3, 08K3.1 sowie 08K7.1 konnte mangels ausreichender Datenbasis ebenfalls keine Auswertung erfolgen.

In der BE 08P11 zeigte sich im Wahrscheinlichkeitsnetz für den Bereich des Kupferberges (Danielszug – Kupfervorkommen) eine geogene Anomalie auf, sodass die BE für weiterführende Auswertungen entsprechend differenziert wurde (vgl. Tab. 24-1 BE 08P11a und 08P11b).

Die Gesteine der BE 08P13 reichen bis in das TEZG des Rheingraben-Nord hinein und wurden zur Verbesserung der Datengrundlage bei einer Vielzahl der Untersuchungsparameter für die Auswertungen mit der zugehörigen BE (Rheingraben-Nord_08P13) zusammengeschlossen.

Tab. 24-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Wupper

Wupper_		Fläche [km²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	33,8
08K3.1	quartäre Sande und Kiese	7,4
02K2.1	tertiäre Feinsande, Tone und Schluffe (ohne Bk), östlicher Niederrhein	8,4
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	1,5
08K7.1	tertiäre Sedimente	2,5
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	7,4
08P10	paläozoische Karbonate	28,2
08P11a	paläozoische Schiefer und Sandsteine	376,0
08P11b	paläozoische Schiefer und Sandsteine – Kupferberg	24,3
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	161,0
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	160,5
08V5	paläozoische saure Vulkanite	1,1

24.3 Ergebnisse

In Tabelle 24-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 24-4 bis 24-8 in Karten dargestellt.

Tab. 24-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Wupper				
		08P11a	08P11b	08P12	08P13	08V5
Ag	n > BG					
	50. P.					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					
As	n > BG	37	37	17	8	7
	50. P.	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
	90. P.	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5
	Max. N.	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
B	n > BG	5	5			
	50. P.	2,2	2,2			
	90. P.	10,3	10,3	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	40,0	40,0			
Ba	n > BG	68	68	19	33	12
	50. P.	24,1	24,1	19,3	26,9	13,1
	90. P.	44,0	44,0	42,6	45,1	24,9
	Max. N.	80,0	80,0	58,0	41,0	27,0
Be	n > BG					
	50. P.					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					
Cd	n > BG	37	37	14	11	
	50. P.	0,02	0,02	0,02	0,04	
	90. P.	0,07	0,07	0,03	0,07	n.a.
	Max. N.	0,14	0,14	0,05	0,09	
Co	n > BG	34	34	13	13	6
	50. P.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
	90. P.	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2
	Max. N.	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3
Cr	n > BG	14	14	10	12	
	50. P.	0,2	0,2	0,2	0,2	
	90. P.	0,5	0,5	1,1	1,1	n.a.
	Max. N.	1,4	1,4	3,8	2,0	
Cu	n > BG	118	10	54	54	13
	50. P.	1,1	3,1	1,5	1,4	0,5
	90. P.	2,8	6,3	2,9	3,6	1,9
	Max. N.	8,0	8,7	4,8	7,5	3,3
Fe	n > BG	66	66	29	59	12
	50. P.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
	90. P.	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
	Max. N.	0,6	0,6	0,2	0,7	0,5
Hg	n > BG					
	50. P.					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					

Fortsetzung von Tabelle 24-2

Parameter	Kennwert	Wupper				
		08P11a	08P11b	08P12	08P13	08V5
Mn	n > BG	76	76	27	16	11
	50. P.	10,6	10,6	12,1	15,0	4,9
	90. P.	47,1	47,1	47,0	56,1	72,7
	Max. N.	240,0	240,0	62,0	76,0	259,0
Mo	n > BG	30	30	11	13	
	50. P.	0,1	0,1	0,1	0,0	
	90. P.	0,7	0,7	0,4	0,6	n.a.
	Max. N.	0,6	0,6	1,2	6,0	
Ni	n > BG	54	54	19	19	6
	50. P.	1,0	1,0	1,0	1,6	0,6
	90. P.	2,4	2,4	3,0	3,8	2,3
	Max. N.	3,7	3,7	4,5	5,0	3,8
Pb	n > BG	37	37	17	13	7
	50. P.	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1
	90. P.	0,8	0,8	1,4	1,6	0,9
	Max. N.	1,0	1,0	2,5	2,2	1,4
Se	n > BG					
	50. P.					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					
SO ₄	n > BG	99	99	38	32	14
	50. P.	16,7	16,7	22,4	17,6	17,5
	90. P.	23,3	23,3	39,4	24,2	34,7
	Max. N.	25,0	25,0	47,0	32,0	45,0
Ti	n > BG	12	12		16	
	50. P.	2,4	2,4		2,2	
	90. P.	12,4	12,4	n.a.	11,9	n.a.
	Max. N.	14,4	14,4		36,5	
Tl	n > BG					
	50. P.					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.					
U	n > BG	18	18	11	30	8
	50. P.	0,00	0,00	0,02	0,06	0,04
	90. P.	0,08	0,08	0,17	0,20	0,19
	Max. N.	0,98	0,98	0,24	0,50	0,35
V	n > BG	7	7	6	8	
	50. P.	0,3	0,3	0,4	0,4	
	90. P.	0,5	0,5	0,5	0,9	n.a.
	Max. N.	0,7	0,7	0,6	1,3	
Zn	n > BG	96	96	41	44	12
	50. P.	9,9	9,9	12,9	11,5	3,5
	90. P.	26,6	26,6	25,5	30,4	16,0
	Max. N.	100,0	100,0	45,0	61,0	28,0

Eine Betrachtung der ermittelten HGW im TEZG der Wupper zeigt unter Berücksichtigung der Beurteilungswerte nur bedingt Auffälligkeiten (vgl. Tab. 24-2). Die für Zink ermittelten HGW gründen auf den erhöhten geogenen Zinkgehalten der devonischen Festgesteine (ALLOWAY 1999; HESEMANN et al. 1981; WEDEPOHL 1995; ...) und liegen in den äquivalenten BE (08P11, 08P12, 08P13) des TEZG Ruhr in der gleichen Größenordnung (Kap. 23.3, Tab. 23-2: HGW_{Zink} von 24,1 bis 27,2 $\mu\text{g/l}$). Für Kupfer wurde in der BE 08P11 eine geogene Anomalie im Bereich des Danielszuges (Kupferberg) identifiziert und separat ausgewertet. Wie zuvor beschrieben (s. Kap. 24.1) befinden sich im TEZG aber auch zahlreiche kleinräumige Erzvorkommen (wie z. B. Bleierzgrube Primus an der Kleinen Dhünn oder Blei-Kupfererzbergwerk Clara nahe des Eifgenbachs). Solche Vererzungen können zwar lokal Einfluss auf die natürliche Beschaffenheit der Gewässer nehmen, in der Fläche scheinen sie sich aufgrund der geringen Erzmengen aber nur gering auszuwirken (z. B. BE 08P13 $HGW_{Blei} = 1,6 \mu\text{g/l}$).

Infolge der anthropogenen Überprägung in den Bereichen von Wuppertal und Leverkusen konnten nicht alle BE im TEZG der Wupper ausgewertet werden. Davon sind auch FWK betroffen, in denen geogen erhöhte Konzentrationen der Untersuchungsparameter möglich sein können. Primär sind hierbei die Schwelme und der Mutzbach (Paffrather Kalkmulde) zu nennen. In den genannten Bereichen sind somit zwar Vererzungen bekannt, durch Bergbau, Stolleneinleitungen oder auch Bebauungen (u. a.) kann die natürliche Komponente jedoch nicht erfasst werden und es können keine repräsentativen Auswertungen durchgeführt werden.

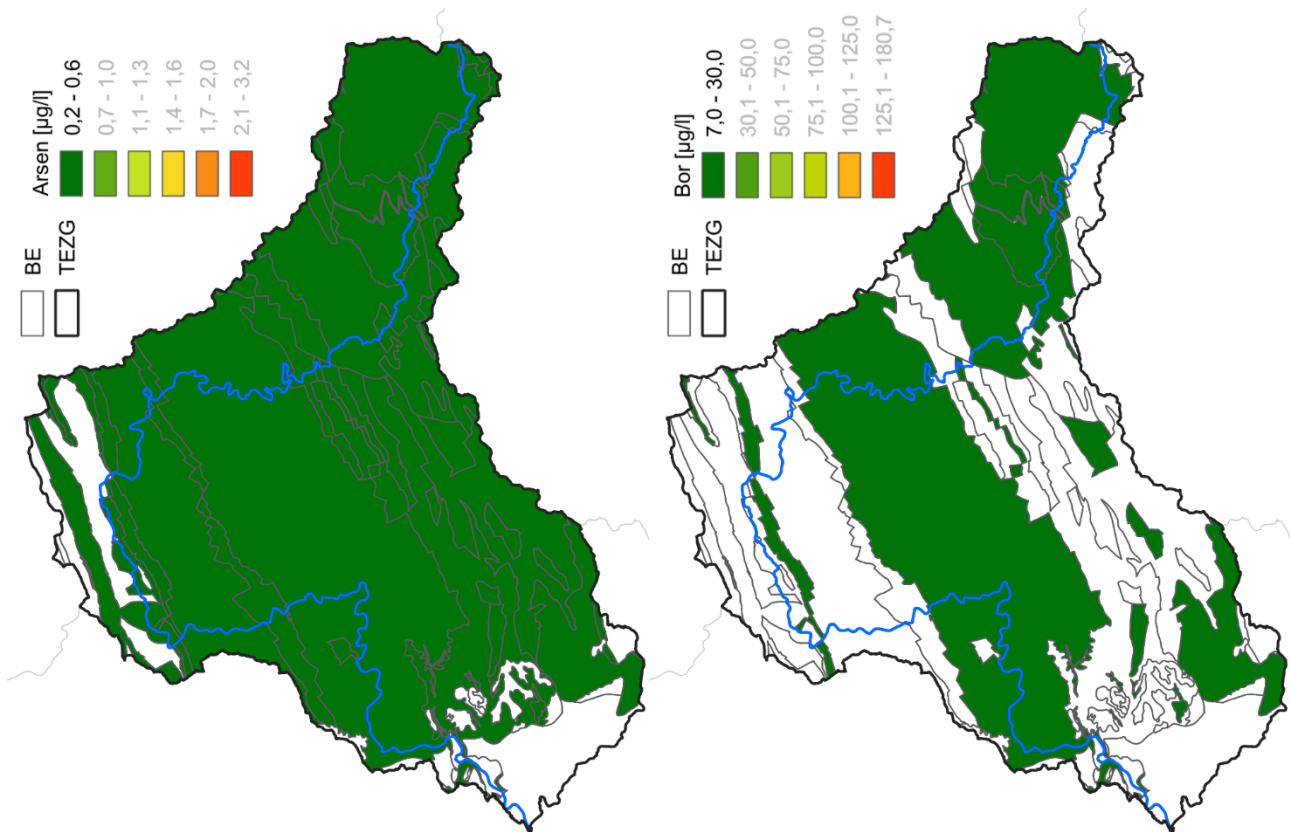


Abb. 24-4: HGW_{ges} für Arsen und Bor in den BE des TEZG Wupper

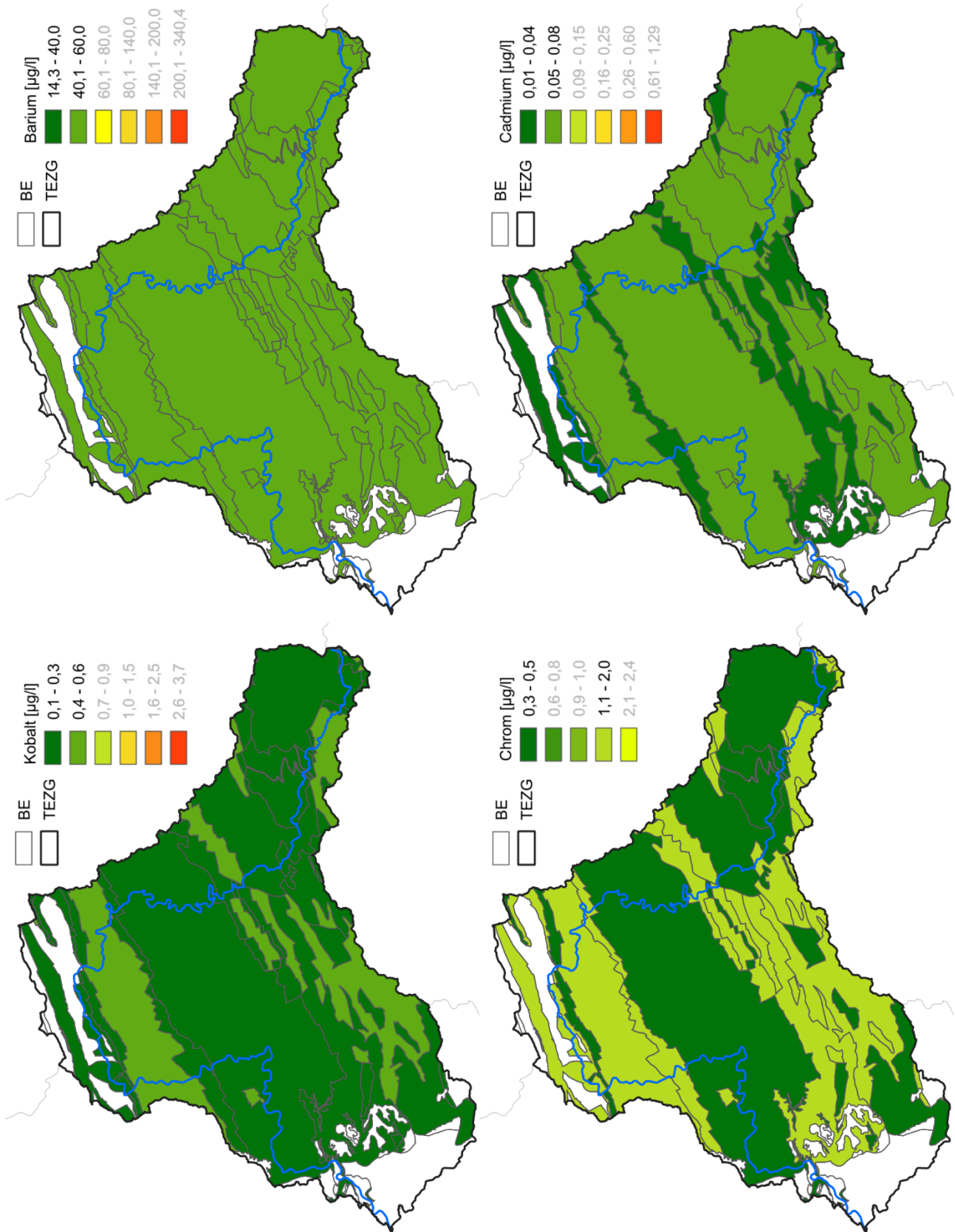


Abb. 24-5: HGW_{ges} für Barium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE des TEZG Wupper

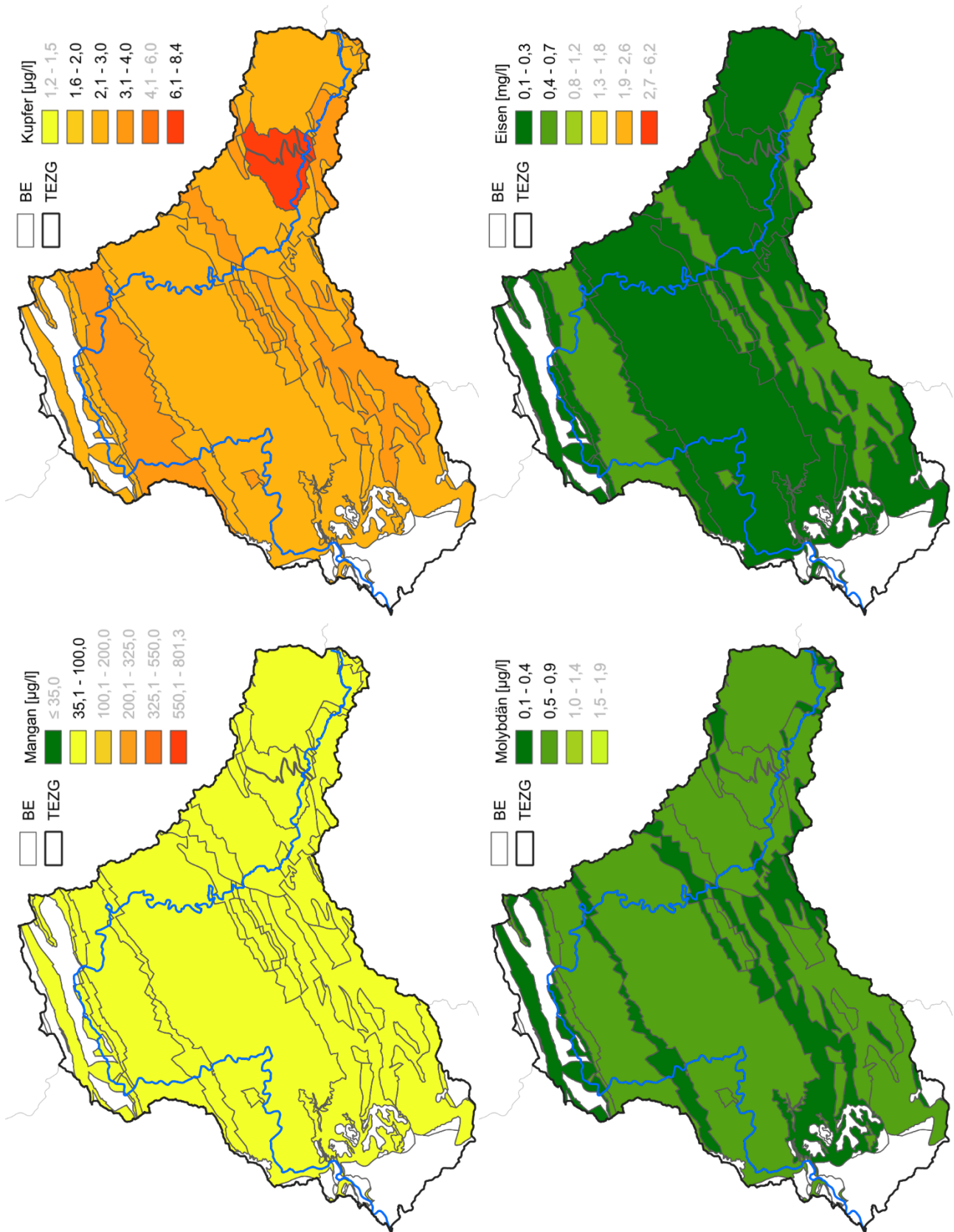


Abb. 24-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Mangan und Molybdän in den BE des TEZG Wupper

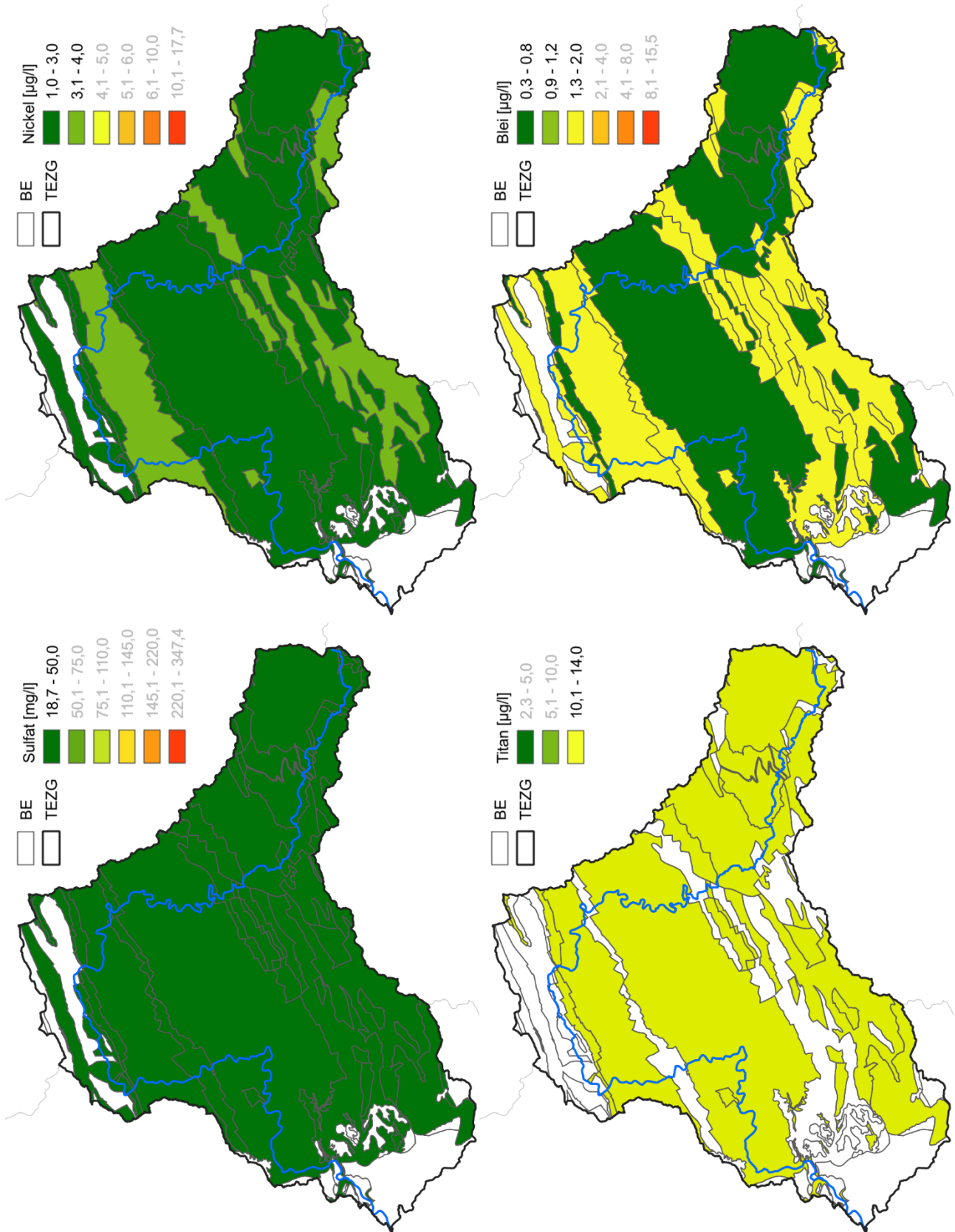


Abb. 24-7: HGW_{ges} für Nickel, Blei, Sulfat und Titan in den BE des TEZG Wupper

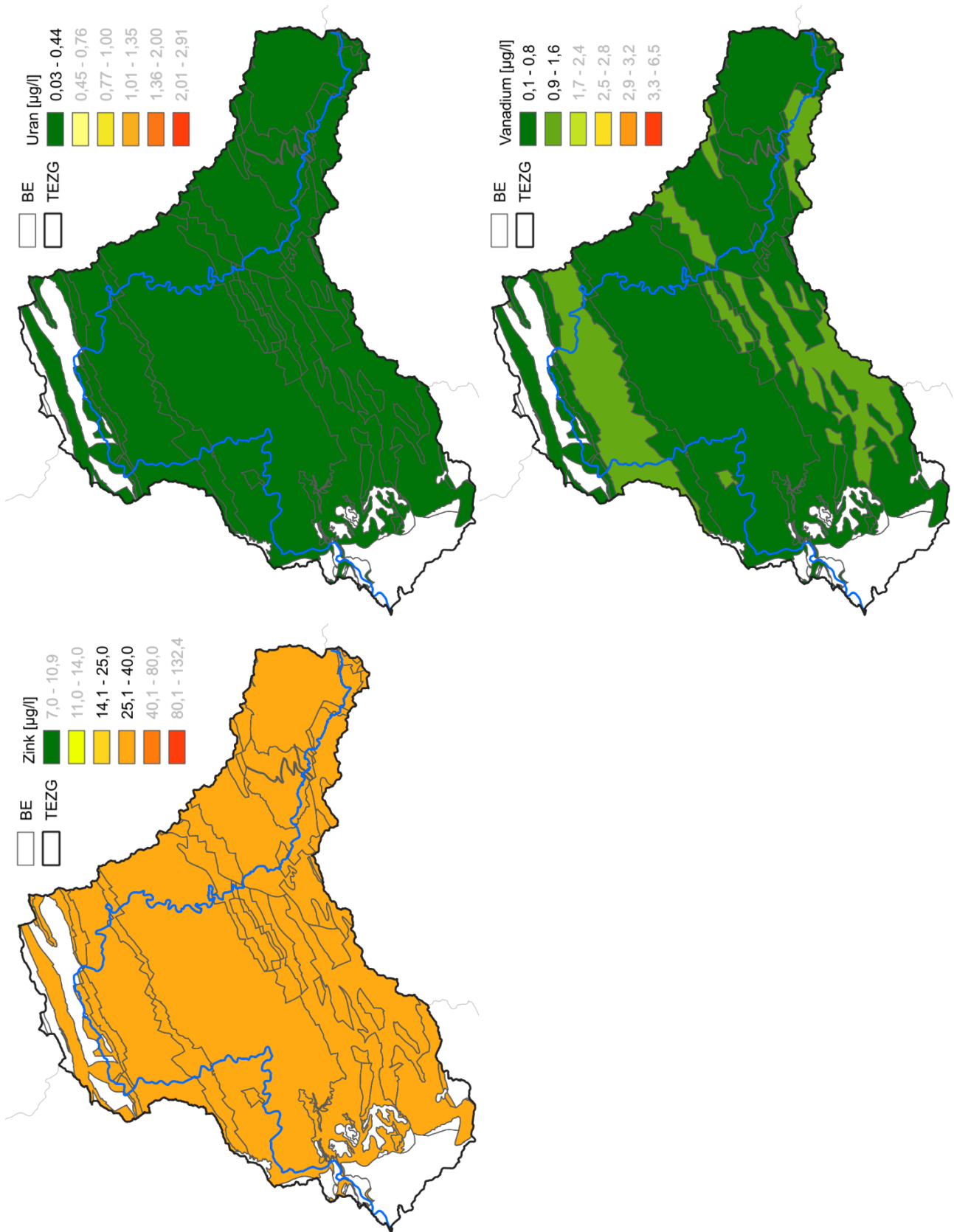


Abb. 24-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Wupper

25 Sieg

25.1 Gebietsbeschreibung

In Abbildung 25-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 25-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.



Abb. 25-1: TEZG Sieg

Die Sieg ist ein Mittelgebirgsfluss, dessen TEZG mit Teilen in NRW sowie in Rheinland-Pfalz liegt. Der mittlere Abschnitt der Sieg fällt in rheinland-pfälzisches Gebiet, sodass der nordrhein-westfälische Teil (obere und untere Sieg) räumlich in zwei getrennte Bereiche unterteilt wird: einen Ost- und einen Westteil (zusammen 2 183 km²). Der Ostteil wird dem Siegerland zugezählt, während der Westteil dem Bergischen Land angehört und bei Königswinter in das Siebengebirge übergeht. Im Westen reicht das TEZG bis in die Niederrheinische Bucht.

Der Ostteil liegt gegenüber dem Westteil leicht erhöht und geht in östlicher Richtung in das Rothaargebirge über. Im östlichen Randbereich werden so bis zu 650 m ü. NHN erreicht. Auch im Süden von Burbach (Süden des Ostteils) steigt die Geländeoberfläche auf über 600 m ü. NHN an. Nach Südwesten sinkt das Gelände im Schnitt leicht ab (maximale Höhen von 400 bis 500 m ü. NHN). Im Westteil werden

von Nordosten nach Südwesten Höhendifferenzen von bis zu 460 m erreicht, bei maximalen Höhen von etwa 510 m ü. NHN (WMS DTK 100).

Die Gewässer folgen dem beschriebenen Höhenprofil des TEZG und fließen im Schnitt von Nordosten nach Südwesten (Buchheller und Pleisbach strömen aus südlicher Richtung an). Ihre Flusstäler (Muldentäler; MUNLV 2005 e) weiten sich zum Westen des TEZG auf und gehen in die Niederungen der Niederrheinischen Bucht über (s. Abb. 25-1). Für die Trinkwassernutzung wurden im TEZG der Sieg fünf Talsperren angelegt. Die Aggertalsperre wird für die Brauchwassernutzung, Stromerzeugung und Abflussregulierung genutzt. Sieben Flusstauanlagen dienen zusätzlich der Wasserkraftnutzung (MUNLV 2005 e).

Das TEZG der Sieg wird von Wald- und Grünlandflächen dominiert (46 bzw. 31 % Anteil an der Gesamtfläche), die vorwiegend auf Hochflächen sowie in Hanglagen anzutreffen sind. Die Flusstäler sind in der Regel dichter besiedelt und weisen mitunter einen hohen Versiegelungsgrad auf (z. B. Kreuztal und Siegen am Ferndorfbach bzw. am Übergang in die Sieg; oder Hennef, Siegburg und Troisdorf in den Niederungen der unteren Sieg) (ATKIS; MUNLV 2005 e). Einzelne Gewässerabschnitte sind in diesen Bereichen verrohrt und Ufer-/Sohlenbereiche verbaut. Zahlreiche Stollen sowie Grubenwasser-einleitungen zeugen von Bergbautätigkeiten (Erzbergbau; IS GDU), die im TEZG der Sieg lange Zeit eine bedeutende und prägende Rolle eingenommen haben (MUNLV 2005 e).

Geologie/Hydrogeologie

Das TEZG der Sieg ist Teil des rechtsrheinischen Schiefergebirges mit überwiegend gefalteten, teilweise zerrütteten und geschieferten paläozoischen Gesteinen. Strukturell wird der Aufbau des TEZG maßgeblich durch das tektonische Hochgebiet des Siegener Antiklinoriums bestimmt, welches sich von Südwesten nach Nordosten durch den Ostteil des TEZG zieht (GD NRW 2017). Die unterdevonischen, geschieferten Ton- und Schluffsteine sowie die sandigen Tonsteine sind entlang Südwest – Nordost streichender Auf- und Abschiebungen gegeneinander verschoben. Querstörungen bedingen weitere Versätze zwischen den Schichtgliedern (IS GK 100). An der nördlichen Grenze des Ostteils treten am Müsener Horst schluffige, geschieferte Tonsteine des Gedinnes zutage. Im Süden wird das TEZG durch basische Ergussgesteine des Westerwaldes (tertiäre Basaltdecken im Südosten der Dill-Mulde) begrenzt. Im Nordwesten des Siegener Antiklinoriums (im TEZG der Ruhr) schließt die Attendorn-Elsper Doppelmulde an (GD NRW 2017). Die in der Muldenstruktur abgelagerten jüngeren Sedimente greifen von Norden aus bis in den Westteil des TEZG der Sieg. Hier streichen sowohl (kalkhaltige) Sandsteine als auch Tonsteine des mittleren Devons aus. Nach Westen, in Richtung Rheinebene, werden die devonischen Festgesteine von tertiär- (Köln-Schichten, tertiärer Trachyttuff) und quartärzeitlichen Lockergesteinen (vorwiegend Niederterrassen) überlagert (IS GK 100).

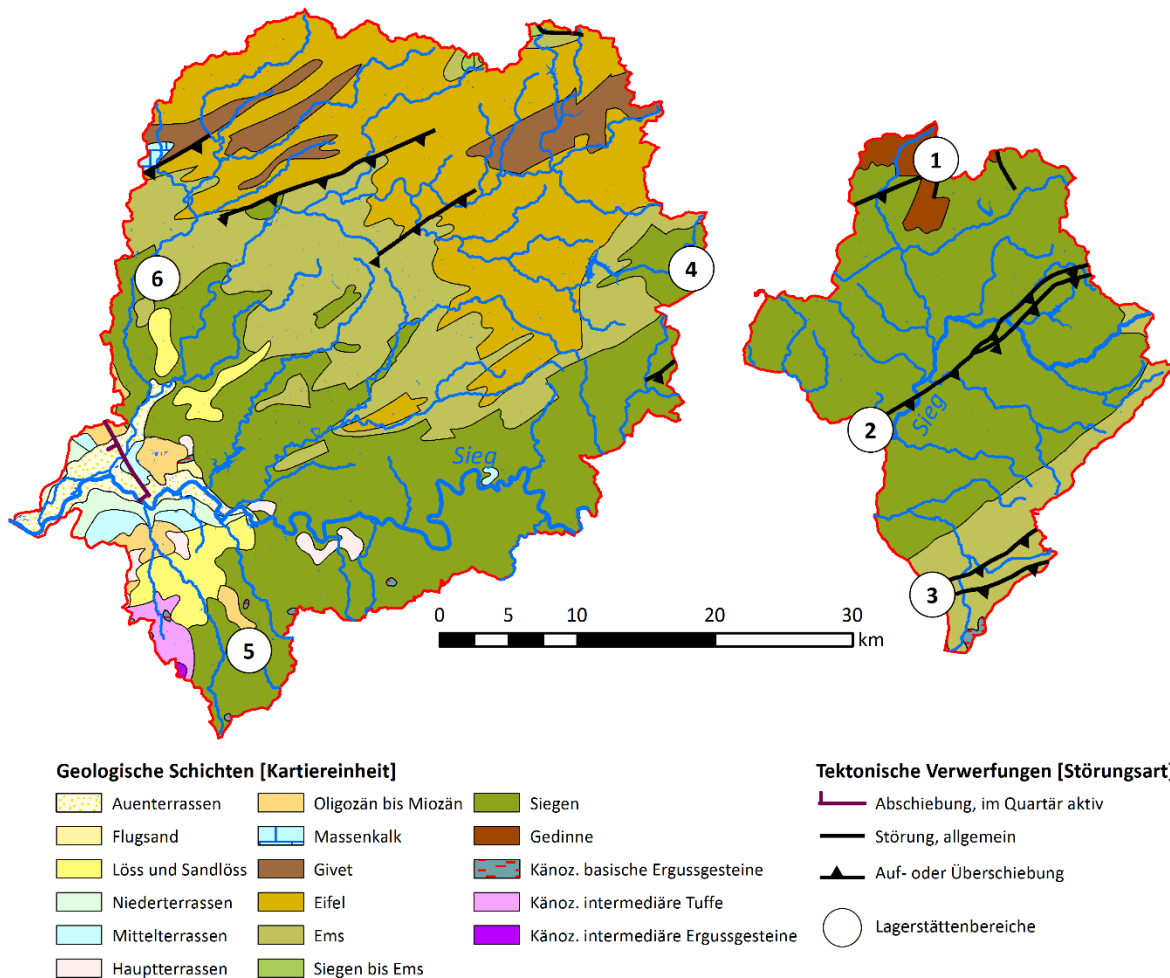


Abb. 25-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Sieg

Die Durchlässigkeiten der Festgesteine (Kluftgrundwasserleiter) sind im Schnitt als gering bis sehr gering einzustufen (IS HK 100), sodass Niederschlagswasser zu großen Teilen oberirdisch abfließt (MUNLV 2005 e). Der Sickerwasseranteil ist im Rheinischen Schiefergebirge somit als verhältnismäßig klein zu beschreiben (GD NRW 2017). Die Aufnahmefähigkeit der Kluftgrundwasserleiter ist dabei an ihren Zerrüttungsgrad sowie die Öffnungsweite der Trennfugen gebunden. In vielen Bereichen fließt das Wasser bereits als Zwischenabfluss ab oder tritt als unterirdischer Abfluss an Quellen wieder an die Oberfläche (MUNLV 2005 e). Quartärzeitliche Porengrundwasserleiter mit höheren Ergiebigkeiten/Durchlässigkeiten sind vorwiegend in den Niederungen des Rheins anzutreffen sowie bedingt in den Talauen der größeren Gewässer (IS HK 100; MUNLV 2005 e).

Lagerstätten und Mineralisation

Im TEZG der Sieg sind großräumig Vererzungen variszischen und jüngeren Alters bekannt. Im Folgenden wird ein kurzer Abriss ausgewählter Lagerstätten gegeben. Detaillierte Beschreibungen können z. B. in den Arbeiten von FENCHEL et al. (1985), WETTIG (1974) und KIRNBAUER (1998) gefunden werden. Hinweise

auf das Ausmaß der Bergbautätigkeiten geben unter anderem das ARGE Erzbergbau-Gutachten (ARGE Erzbergbau 2012) sowie das IS GDU.

Der **Siegerland-Wied-Distrikt** fällt weitestgehend mit der tektonischen Baueinheit des Siegener Antiklinoriums zusammen. Im Zuge der variszischen Orogenese entstanden Störungssysteme, auf denen metallhaltige Fluide aufstiegen und Erze abgesetzt wurden (FENCHEL et al. 1985). In insgesamt sieben Mineralisationsphasen entstanden zwischen Unterdevon und Tertiär verschiedene Mineralparagenesen innerhalb des Erzdistrikts, die mitunter auch räumlich voneinander abgegrenzt werden können (GD NRW 2017). Innerhalb des nordrhein-westfälischen Teils des Einzugsgebietes Sieg sind z. B. Mineralisationen der Vorphase (Quarz-Kobaltarsenkies), der Hauptphase (Siderit-Quarz) sowie der Sulfidphase vorzufinden. Von den Nachphasen lassen sich die Quarz-Kupferkies- und die Eisenglanz-Phase im TEZG nachweisen. Sekundäre Mineralbildungen sind vor allem an Diabasgänge gekoppelt (kontaktmetamorphe Bildungen) oder in Form von Oxidations- und Zementationsmineralen (z. B. Brauneisenerz) vorhanden (FENCHEL et al. 1985). Als Hauptbestandteil dominiert jedoch Spateisenstein (Siderit; mit im Schnitt 45 %) die Gangfüllungen (GD NRW 2017). Im nördlichen Randbereich liegen die Gangvererzungen des **Müsener Raumes** (Abb. 25-2: Markierung 1). Auf den z. T. zerrütteten Störungszonen bildeten sich vorwiegend silberreiche Blei- und Fahlerze sowie Zinkblende (LUSZNAT 1970; FENCHEL et al. 1985). Weiter südlich, zwischen **Freudenberg und Siegen** (Abb. 25-2: Markierung 2), fallen die Mineralbildungen der Vor-, Haupt-, Sulfid- und Eisenglanz-Phase zusammen, sodass die Gangfüllungen regional variieren. Spateisenstein (und in der Oxidationszone Brauneisen) bildet aber weiterhin die dominierende Gangfüllung (LUSZNAT 1968). In östlicher Richtung, und damit auch im Raum **Wilnsdorf und Burbach** (Abb. 25-2: Markierung 3), wird im oberen Stockwerk eine Zunahme der sulfidischen Vererzungen mit Schwerpunkt auf Blei- und Zinkerzen beschrieben (THÜNKER 2001; FENCHEL et al. 1985). Im Osten von Reichshof laufen die Spateisensteingänge des Siegerland-Wied-Distriktes aus und werden durch Bleierzgänge, wie z. B. den **Wildberger und den Heidberger Gangzug** (Abb. 25-2: Markierung 4), abgelöst (GRABERT & HILDEN 1972). Südlich von **Hennef (Sieg)** (Abb. 25-2: Markierung 5) sind weitere Erzgänge in Form von Blei- und Zink- sowie Kupfererzgängen an die devonischen Schichten gebunden (BURRE 1995; HOFFMANN & UDLUFT & ZIMMERMANN 1977).

Wie auch der Siegerland-Wied-Distrikt gründet der **Bensberger Erzbezirk** im Westen des TEZG (Abb. 25-2: Markierung 6) auf umfangreichen hydrothermalen Gangerzvorkommen in den unterdevonischen Schichten (JUX 1982). Anders als in den östlichen Erzgängen (Hauptelement Spateisenstein) dominieren hier Zinkblende und Bleiglanz die Mineralführung der Gänge. Neben Kupferkies und Pyrit können z. B. auch Spuren von Kobalt-Nickel-Kiesen oder weiteren sulfidischen Erzen auftreten (JUX 1982). JUX (1982) weist alleine im Blattgebiet Overath auf ca. 110 bekannte Gangerzvorkommen hin.

In den tertiärzeitlichen Deckschichten liegen sedimentäre Anreicherungen von Eisenhydroxiden vor. Sie erstrecken sich vom Westen des TEZG Sieg bis in das TEZG des nördlichen Rheingrabens (vgl. Kap. 18.1 und Abb. 18-2).

25.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 25-3 und Tabelle 25-1 wird ein Überblick über die im TEZG Sieg abgegrenzten BE gegeben.

In den BE 08P10 und 08K3.1 lagen nicht ausreichend Messstellen vor, um eine Auswertung durchzuführen. Im Verbreitungsbereich der quartärzeitlichen Lockergesteine (BE 02K1.3) konnten infolge der Belastungssituation keine repräsentativen HGW abgeleitet werden.

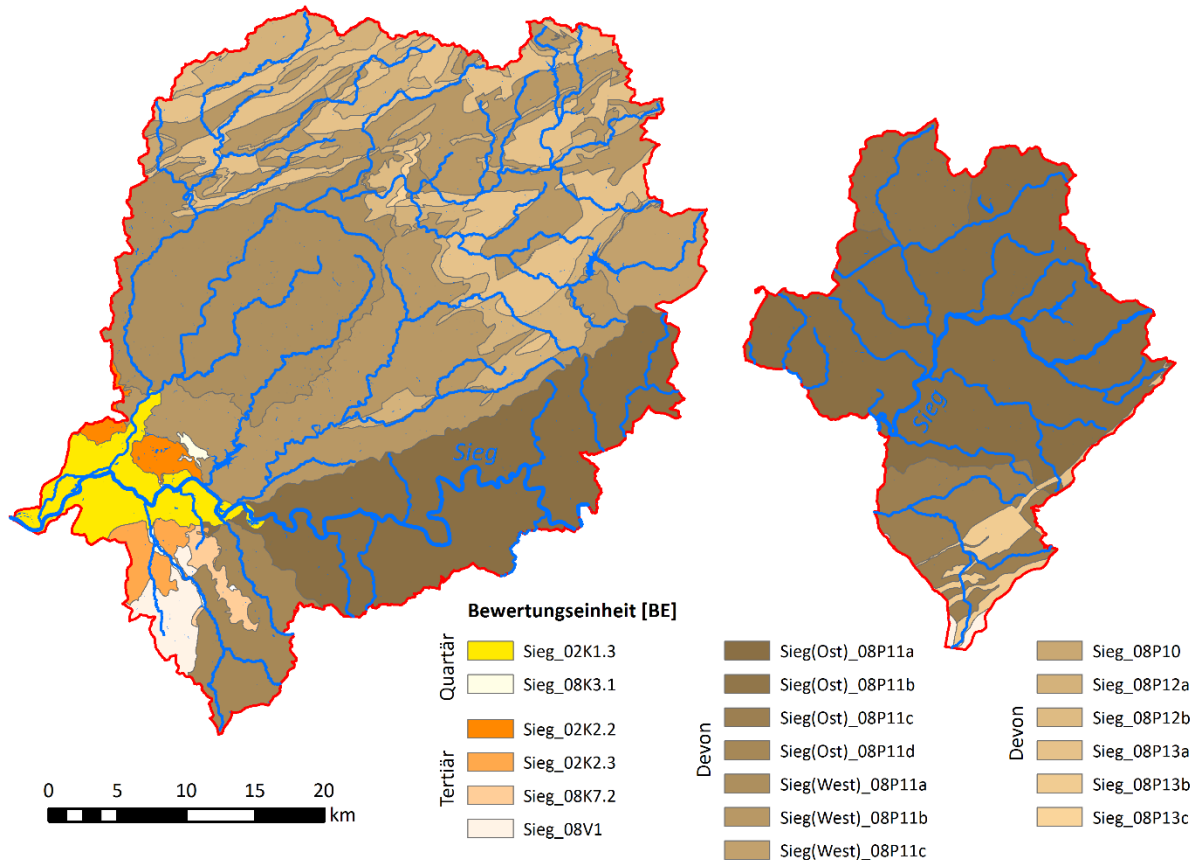


Abb. 25-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Sieg

Die tertiärzeitlichen Sedimente der BE 02K2.2, 02K2.3 und 08K7.2 waren mangels ausreichender Datenbasis nicht eigenständig auswertbar. Da die Lockergesteine des Tertiärs hier jedoch als geochemisch vergleichbar angesehen werden können, wurden sie weitestgehend zusammen mit den äquivalenten BE des TEZG Rheingraben-Nord ausgewertet. Die Häufigkeitsverteilungen im Wahrscheinlichkeitsnetz bestätigten die geochemische Zusammengehörigkeit der BE, sodass die aggregierte Auswertung als valide einzustufen ist und HGW ermittelt werden konnten. Auch die känozoischen Basalte und Tuffe (BE 08V1) wurde für die Auswertungen mit den entsprechenden BE der TEZG Lahn und Rheingraben-Nord zusammengeschlossen bzw. alle BE der HGC gemeinschaftlich ausgewertet.

Tab. 25-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Sieg

Sieg_		Fläche [km²]
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	70,0
08K3.1	quartäre Sande und Kiese	4,4
02K2.2	Braunkohlentertiär	15,5
02K2.3	tertiäre Sande, Schluffe und Tone (ohne Bk), restlicher Niederrhein	19,5
08K7.2	tertiäre Sedimente, silikatisch-organisch	11,5
08V1	känozoische Basalte und Tuffe	27,3
08P10	paläozoische Karbonate	3,2
(Ost)_08P11a	paläozoische Schiefer und Sandsteine	709,3
(Ost)_08P11b	paläozoische Schiefer und Sandsteine – Grube Altenberg	58,3
(Ost)_08P11c	paläozoische Schiefer und Sandsteine – Peterszeche	80,6
(Ost)_08P11d	paläozoische Schiefer und Sandsteine – Hanfbach	74,3
(West)_08P11a	paläozoische Schiefer und Sandsteine – Bensberger Erzrevier	274,7
(West)_08P11b	paläozoische Schiefer und Sandsteine	410,0
(West)_08P11c	paläozoische Schiefer und Sandsteine – Wiehl	47,2
08P12a	paläozoische Schiefer, karbonatisch	152,6
08P12b	paläozoische Schiefer, karbonatisch – Bensberger Erzrevier	10,3
08P13a	paläozoische Sandsteine und Quarzite	187,3
08P13b	paläozoische Sandsteine und Quarzite – Peterszeche	23,6
08P13c	paläozoische Sandsteine und Quarzite – Bensberger Erzrevier	2,2

Im TEZG der Sieg liegen zahlreiche Vererzungen innerhalb der paläozoischen BE vor (Kap. 25.1). Erste Testauswertungen zeigten, dass sich die Vererzungszonen lokal auf die Konzentrationsverteilungen einzelner Untersuchungsparameter in den Gewässern auswirkten – es kam zur Ausbildung von Teilpopulationen im Wahrscheinlichkeitsnetz, die einen klaren räumlichen Bezug aufwiesen. Aus diesem Grund wurden die BE 08P11, 08P12 und 08P13 unter Berücksichtigung der Erzvorkommen weiterführend untergliedert (Ost/West bzw. a/b/c/d) und für die betroffenen Parameter separate HGW für die jeweiligen Teilbereiche ermittelt.

25.3 Ergebnisse

In Tabelle 25-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls in den Tabellen erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 25-4 bis 25-9 in Karten dargestellt.

Bei Betrachtung der in Tabelle 25-2 ausgewiesenen Ergebnisse weisen vor allem die Parameter Zink, Cadmium, Blei und Kupfer (gegenüber ihren jeweiligen Beurteilungswerten) erhöhte HGW auf. Die erhöhten HGW stehen in klarem Bezug zu einzelnen Lagerstättenbereichen des TEZG bzw. den tonigen tertiärzeitlichen Sedimenten.

Tab. 25-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Sieg													
		02K2.2 02K2.3 08K7.2	(Ost) 08P11a	(Ost) 08P11b	(Ost) 08P11c	(Ost) 08P11d	(West) 08P11a	(West) 08P11b	(West) 08P11c	08P12a	08P12b	08P13a	08P13b	08P13c	08V1
Ag	n > BG		15	15	15	15	6	6	6						
	50. P.		0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002						
	90. P.	n.a.	0,012	0,012	0,012	0,012	0,008	0,008	0,008	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.		0,044	0,044	0,044	0,044	0,030	0,030	0,030						
As	n > BG	16	36	36	36	36	38	38	38	10	10	13	13	13	7
	50. P.	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,7
	90. P.	1,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	1,7
	Max. N.	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2,0
B	n > BG	6	10	10	10	10	29	29	29	7	7	10	10	10	
	50. P.	23,0	5,8	5,8	5,8	5,8	3,2	3,2	3,2	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2	
	90. P.	43,4	15,6	15,6	15,6	15,6	7,0	7,0	7,0	16,1	16,1	7,1	7,1	7,1	n.a.
	Max. N.	60,0	40,0	40,0	40,0	40,0	10,0	10,0	10,0	100,0	100,0	20,0	20,0	20,0	
Ba	n > BG	15	61	61	61	61	61	61	61	12	12	22	22	22	8
	50. P.	48,6	7,5	7,5	7,5	7,5	20,7	20,7	20,7	26,6	26,6	25,3	25,3	25,3	32,8
	90. P.	66,3	19,4	19,4	19,4	19,4	47,6	47,6	47,6	36,6	36,6	42,4	42,4	42,4	46,9
	Max. N.	79,0	25,0	25,0	25,0	25,0	82,0	82,0	82,0	38,0	38,0	54,0	54,0	54,0	46,0
Be	n > BG		8	8	8	8	6	6	6						
	50. P.		0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00						
	90. P.	n.a.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.		0,06	0,06	0,06	0,06	0,36	0,36	0,36						
Cd	n > BG	17	43		10	9	18	37	37	10	18	14	10	18	7
	50. P.	0,03	0,01		0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,07	0,03	0,01
	90. P.	0,15	0,04	n.a.	0,14	0,30	0,10	0,03	0,03	0,03	0,10	0,04	0,14	0,10	0,04
	Max. N.	0,25	0,20		0,08	0,06	0,20	0,14	0,14	0,04	0,20	0,10	0,08	0,20	0,06
Co	n > BG	23	53	53	53	53	31	31	31	10	10	14	14	14	7
	50. P.	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3
	90. P.	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4
	Max. N.	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,4
Cr	n > BG		38	38	38	38	10	10	10	6	6	7	7		
	50. P.		0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1		
	90. P.	n.a.	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	n.a.	
	Max. N.		1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,1	2,1		
Cu	n > BG	33	272	272	272	272	293	293	293	37	37	62	62	62	6
	50. P.	1,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,4	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,4
	90. P.	3,4	3,1	3,1	3,1	3,1	3,5	3,5	3,5	2,2	2,2	1,7	1,7	1,7	2,7
	Max. N.	5,4	12,0	12,0	12,0	12,0	10,0	10,0	10,0	3,6	3,6	3,0	3,0	3,0	2,0
Fe	n > BG	53	63	63	63	63	91	91	91	8	8	26	26	26	6
	50. P.	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
	90. P.	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7
	Max. N.	1,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8
Hg	n > BG		11	11	11	11	6				6			6	
	50. P.		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001			0,001			0,001	
	90. P.	n.a.	0,007	0,007	0,007	0,007	0,011	n.a.	n.a.	n.a.	0,011	n.a.	n.a.	0,011	
	Max. N.		0,043	0,043	0,043	0,043	0,040				0,040			0,040	

Fortsetzung von Tabelle 25-2

Parameter	Kennwert	Sieg													
		02K2.2 02K2.3 08K7.2	(Ost) 08P11a	(Ost) 08P11b	(Ost) 08P11c	(Ost) 08P11d	(West) 08P11a	(West) 08P11b	(West) 08P11c	08P12a	08P12b	08P13a	08P13b	08P13c	08V1
Mn	n > BG	17	148	148	148	148	128	128	128	13	13	25	25		7
	50. P.	51,0	25,1	25,1	25,1	25,1	15,4	15,4	15,4	12,4	12,4	6,6	6,6		15,4
	90. P.	207,6	112,6	112,6	112,6	112,6	71,1	71,1	71,1	29,9	29,9	37,2	37,2	n.a.	137,0
	Max. N.	240,0	550,0	550,0	550,0	550,0	321,0	321,0	321,0	34,0	34,0	130,0	130,0		290,0
Mo	n > BG	15	43	43	43	43	59	59	59	9	9	10	10		
	50. P.	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
	90. P.	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,1	0,1	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,1	1,1	1,1	3,0	3,0	0,3	0,3		
Ni	n > BG		133	133	133	133	109	109	109						6
	50. P.		2,0	2,0	2,0	2,0	0,9	0,9	0,9						1,4
	90. P.	n.a.	6,0	6,0	6,0	6,0	3,8	3,8	3,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,6
	Max. N.		25,0	25,0	25,0	25,0	15,3	15,3	15,3						2,6
Pb	n > BG	9	65	65	65	65	46	34	19	9	46	16	16	46	6
	50. P.	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	1,3	0,1	7,0	0,3	1,3	0,2	0,2	1,3	0,3
	90. P.	1,4	4,5	4,5	4,5	4,5	3,6	1,0	15,5	1,4	3,6	0,6	0,6	3,6	0,6
	Max. N.	1,9	42,0	42,0	42,0	42,0	7,4	6,0	22,0	1,4	7,4	1,1	1,1	7,4	0,7
Se	n > BG														
	50. P.														
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.														
SO ₄	n > BG	5	98	98	98	21	170	170	170	39	39	51	51	51	12
	50. P.	33,1	14,9	14,9	14,9	25,5	15,7	15,7	15,7	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	47,2
	90. P.	52,9	20,3	20,3	20,3	36,0	25,7	25,7	25,7	22,1	22,1	22,3	22,3	22,3	60,6
	Max. N.	53,1	24,4	24,4	24,4	42,4	50,8	50,8	50,8	27,0	27,0	26,4	26,4	26,4	66,0
Ti	n > BG		20	20	20	20	33	33	33			16	16		
	50. P.		4,8	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9			2,2	2,2		
	90. P.	n.a.	10,1	10,1	10,1	10,1	14,0	14,0	14,0	n.a.	n.a.	11,9	11,9	n.a.	n.a.
	Max. N.		11,0	11,0	11,0	11,0	38,0	38,0	38,0			36,5	36,5		
Tl	n > BG														
	50. P.														
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.														
U	n > BG	8	21	21	21	21	46	46	46	11	11	15	15	15	14
	50. P.	0,51	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03	0,12
	90. P.	0,93	0,04	0,04	0,04	0,04	0,11	0,11	0,11	0,17	0,17	0,10	0,10	0,10	0,91
	Max. N.	1,10	0,22	0,22	0,22	0,22	0,20	0,20	0,20	0,23	0,23	0,13	0,13	0,13	0,93
V	n > BG	24	11	11	11	14	25	25	25			10	10	10	
	50. P.	0,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,1			0,1	0,1	0,1	
	90. P.	1,1	0,3	0,3	0,3	1,5	0,5	0,5	0,5	n.a.	n.a.	0,6	0,6	0,6	n.a.
	Max. N.	1,3	1,3	1,3	1,3	1,9	3,0	3,0	3,0			1,6	1,6	1,6	
Zn	n > BG	25	179	25	37	29	114	117	117	59	114	41	37	114	14
	50. P.	11,1	9,2	17,6	15,6	16,9	18,8	9,5	9,5	8,2	18,8	9,7	15,6	18,8	8,3
	90. P.	19,1	18,6	41,9	24,2	52,9	44,3	21,8	21,8	18,4	44,3	18,6	24,2	44,3	17,7
	Max. N.	20,0	25,0	68,0	20,0	31,0	127,0	44,0	44,0	29,0	127,0	30,0	20,0	127,0	22,0

Unter der vorliegenden Datenverteilung zeichneten sich für Zink und Cadmium Anomalien in den Lagerstättenbereichen des Bensberger Erzreviers (BE West_08P11a, 08P12b, 08P13c), der Peterszeche bei Burbach (BE Ost_08P11c, 08P13b), der Grube Altenberg im Müsener Revier (BE Ost_08P11b) und des Hanfbachs südlich von Hennef (Sieg) (BE Ost_08P11d) ab. Wie in Kapitel 25.1 geschildert, sind in den entsprechenden Regionen auch Vorkommen von Zinkerzen (i. d. R. begleitet von Cadmium) bekannt, sodass von einer geogen bedingten Anomalie ausgegangen werden kann. Die räumlich differenzierte Auswertung sowie die erhöhten HGW für Zink und Cadmium erscheinen in diesem Zusammenhang plausibel. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den HGW im Grundwasser zwecks Plausibilisierung ist an dieser Stelle wiederum maßstabsbedingt nicht sinnvoll.

Die Konzentrationsverteilungen von Blei zeigten im Rahmen der Auswertungen andere Auffälligkeiten als Zink und Cadmium. So wurde im Wahrscheinlichkeitsnetz ausschließlich eine geogene Anomalie im Bereich der Bleierzgänge des Wildberger und des Heidberger Gangzuges (West_08P11c – Wiehl; vgl. Kap. 25.1) abgebildet und entsprechend separat ausgewertet. Der ermittelte HGW liegt bei 15,5 µg/l. Zwar zeigen sich für Blei auch in weiteren BE erhöhte Konzentrationsspektren (bis maximal 42 µg/l; Tab. 25-2), diese spiegeln sich aber infolge der Konzentrationsverteilung nicht im 90. Perzentil wider.

Die Auswertungen des Ost- bzw. Westteils der BE 08P11 ließen im Fall von u. a. Nickel und Kupfer keine geogenen Anomalien im Wahrscheinlichkeitsnetz erkennen. Demzufolge musste hier keine Unterteilung der BE entsprechend den Erzvorkommen und separate Auswertung der Bereiche vorgenommen werden. Die ermittelten HGW liegen in den äquivalenten BE der anderen TEZG in einer vergleichbaren Größenordnung.

Für den Parameter Silber wurden ebenfalls für die BE West_08P11 und Ost_08P11 keine geogenen Anomalien im Wahrscheinlichkeitsnetz erfasst; und dementsprechend wurde in der Auswertung keine weiterführende räumliche Differenzierung der BE vorgenommen. Eine Betrachtung der Datenanzahl zeigt aber zugleich, dass nur eine geringe Datendichte für die Auswertungen zur Verfügung stand (Tab. 25-1: BE Ost_08P11 mit einer Fläche von 922,4 km² und 15 DS > BG; BE West_08P11 mit einer Fläche von 731,9 km² und 6 DS > BG). Während die ermittelten HGW zwar als repräsentativ für die BE anzusehen sind, ist nicht auszuschließen, dass in den bekannten Lagerstättenbereichen (z. B. Gebiet der Grube Altenberg mit Vorkommen von silberhaltigem Bleiglanz; Kap. 25.1) geogene Anomalien vorliegen.

Alles in allem zeichnet sich das TEZG der Sieg durch zahlreiche Erzlagerstätten aus, in deren Zusammenhang auch in den Oberflächengewässern geogen erhöhte Konzentrationen der Untersuchungsparameter (u. a.) entstehen können. Ob und in welcher Form die Vererzungen sich aber auf den Chemismus der Oberflächengewässer auswirken, kann nicht generalisiert werden und ist konkret an die Gegebenheiten vor Ort geknüpft (z. B. Teufenlage der Vererzungen, Durchlässigkeit des Gesteins bzw. der vererzten Zone, Verwitterung, Anbindung an die Vorflut). Bergbaulich bedingte Einträge sollen hierbei nicht zur Hintergrundkonzentration gezählt werden, sodass Einträge aus dem Bergbau mithilfe des ARGE Erzbergbau-Gutachtens (ARGE Erzbergbau 2012) sowie Daten aus dem LVR-Förderprojekt „Bensberger Erzrevier“ (REMMERT 2024) und mittels Informationen aus dem ISGDU soweit wie möglich ausgeschlossen wurden. Eine Differenzierung der BE sollte dementsprechend nur bei Nachweisen natürlich bedingter

Konzentrationserhöhungen (geogener Anomalien im Wahrscheinlichkeitsnetz) erfolgen. Entsprechende Beispiele bilden im TEZG die zuvor beschriebenen Fälle für die Parameter Zink, Cadmium und (bedingt) Blei. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass die Erfassung der geogenen Anomalie auch unmittelbar an die Lage der Messstellen in Bezug auf die Vererzungserscheinungen geknüpft ist. Je näher eine Messstelle im Abstrom einer geogenen Stoffquelle liegt, desto höher können auch die gemessenen Konzentrationen im Oberflächenwasser werden, während die Konzentrationen weiter unterstromig z. B. durch Zuflüsse von Nebengewässern, Niederschlag oder durch Sedimentations- und Adsorptionsprozesse verringert erscheinen. So besteht die Möglichkeit, dass für einzelne Parameter je nach Verteilung der Eingangsdaten eine natürliche Konzentrationserhöhung nicht oder nur unzureichend erfasst wurde (z. B. Silber im Bereich der Grube Altenberg). Auch besteht die Möglichkeit, dass lokale, kleinräumige geogene Anomalien durch den Bearbeitungsmaßstab nicht abgebildet werden können. Sollten gezielt neue Messstellen zur weiterführenden Untersuchung von Lagerstättenbereichen angelegt werden, kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass je nach Lage der Messstelle die maximal gemessenen Konzentrationen der bestehenden Normalpopulationen überschritten werden können.

Einhergehend mit den sedimentären Anreicherungen von Eisenhydroxiden in den tertiärzeitlichen Deckschichten wurde in den zugehörigen BE (02K2.2, 02K2.3, 08K7.2) der höchste Eisen- und Mangan-HGW innerhalb des TEZG ermittelt ($HGW_{Eisen} = 1,1 \text{ mg/l}$ und $HGW_{Mangan} = 0,2 \text{ mg/l}$).

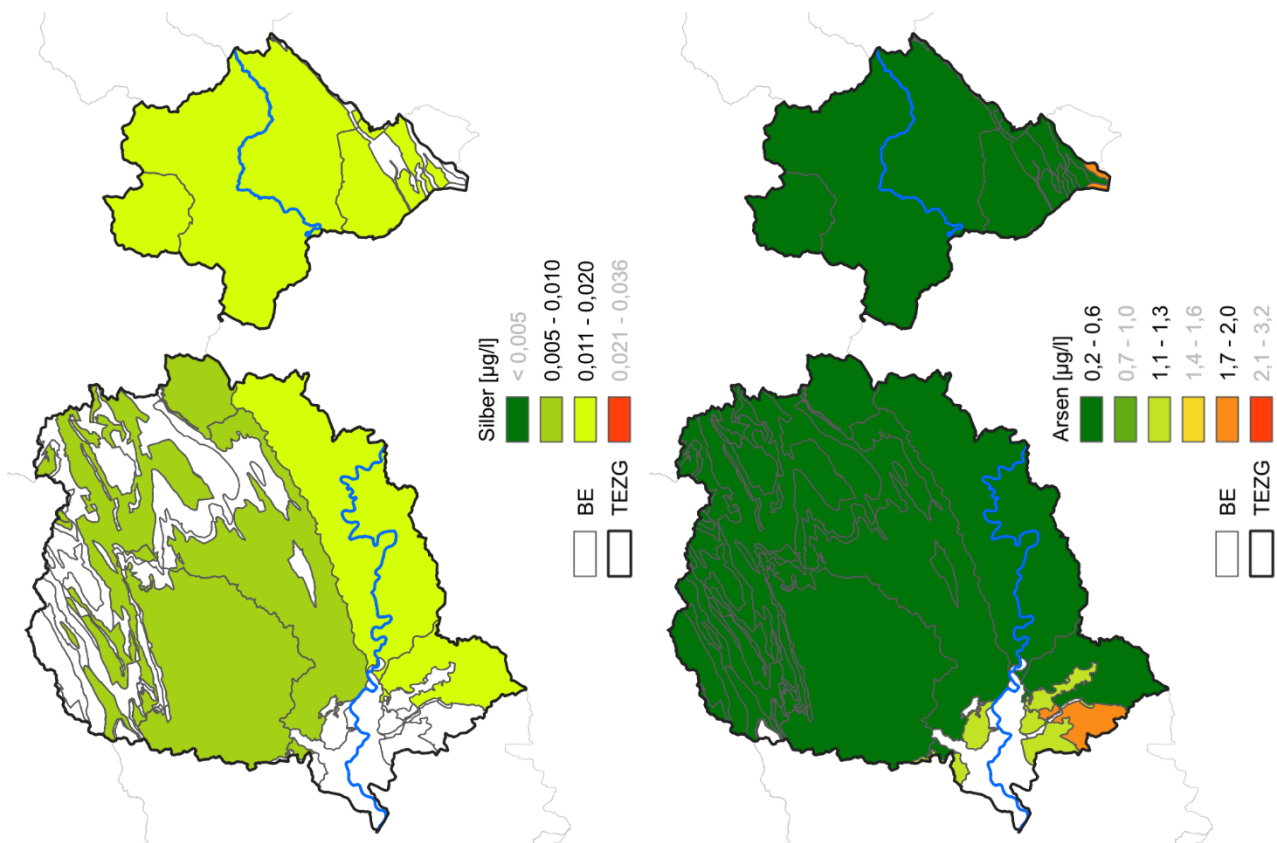


Abb. 25-4: HGW_{ges} für Silber und Arsen in den BE des TEZG Sieg

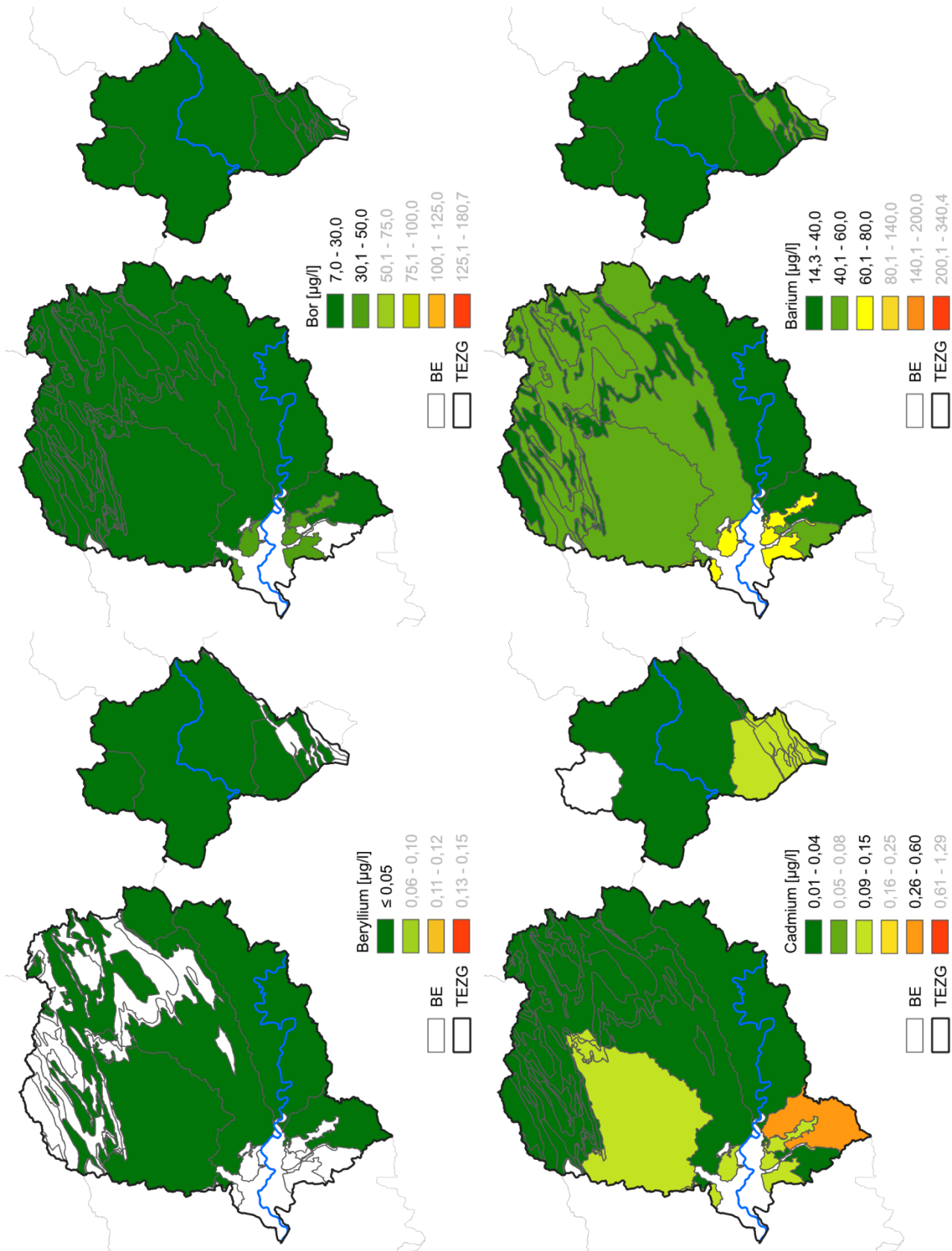


Abb. 25-5: HGW_{ges} für Bor, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Sieg

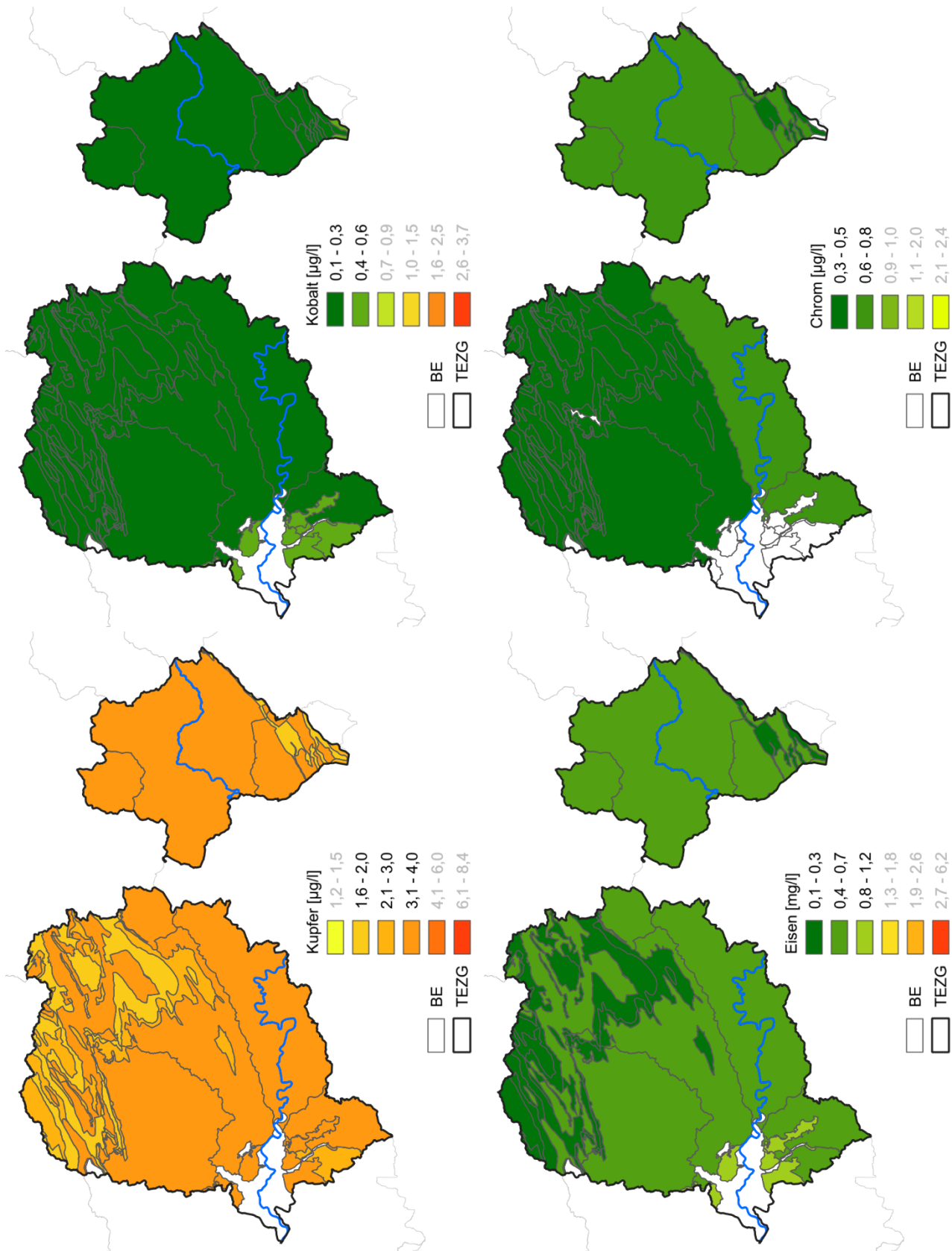


Abb. 25-6: HGW_{ges} für Kobalt, Chrom, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Sieg

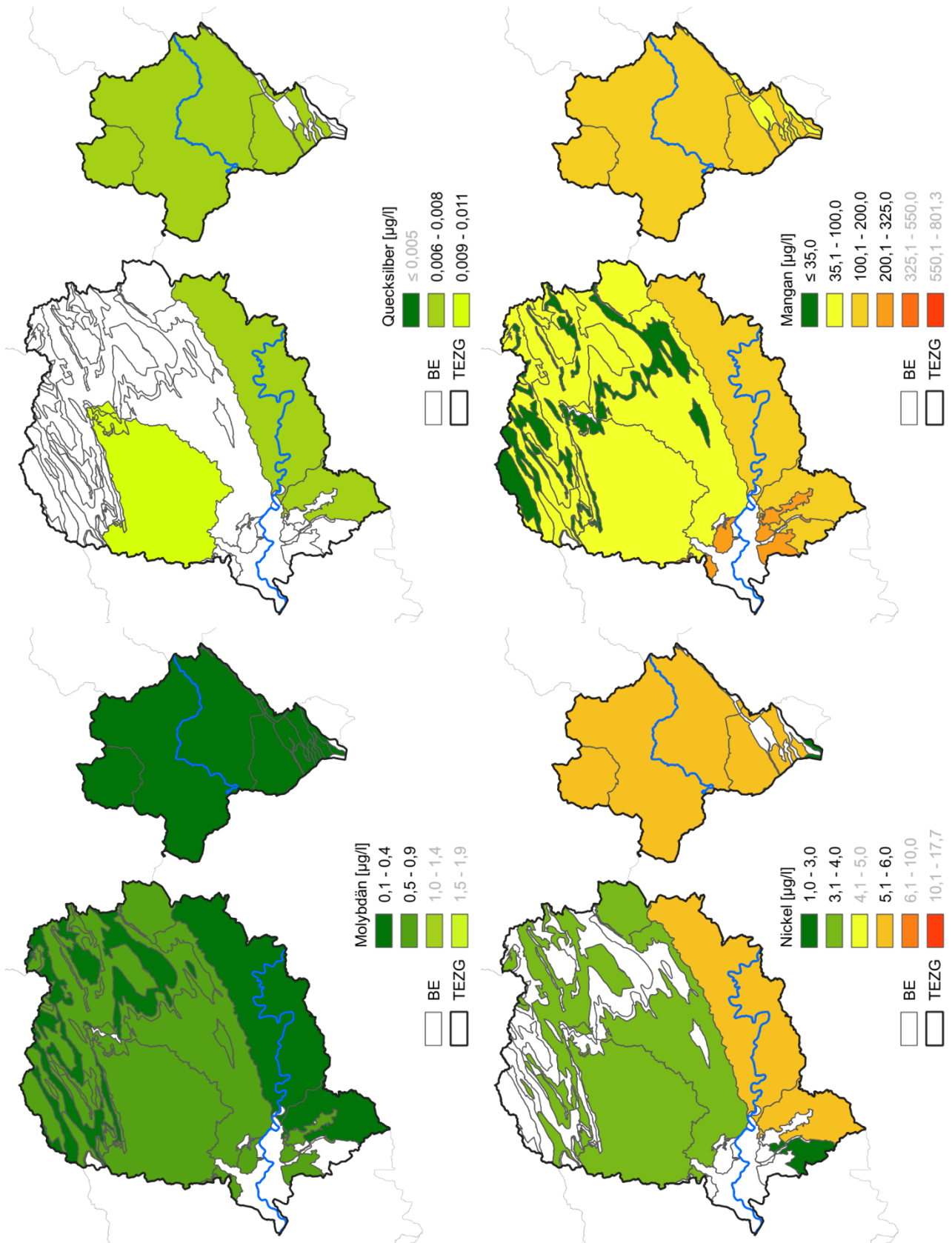


Abb. 25-7: HGW_{ges} für Quecksilber, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Sieg

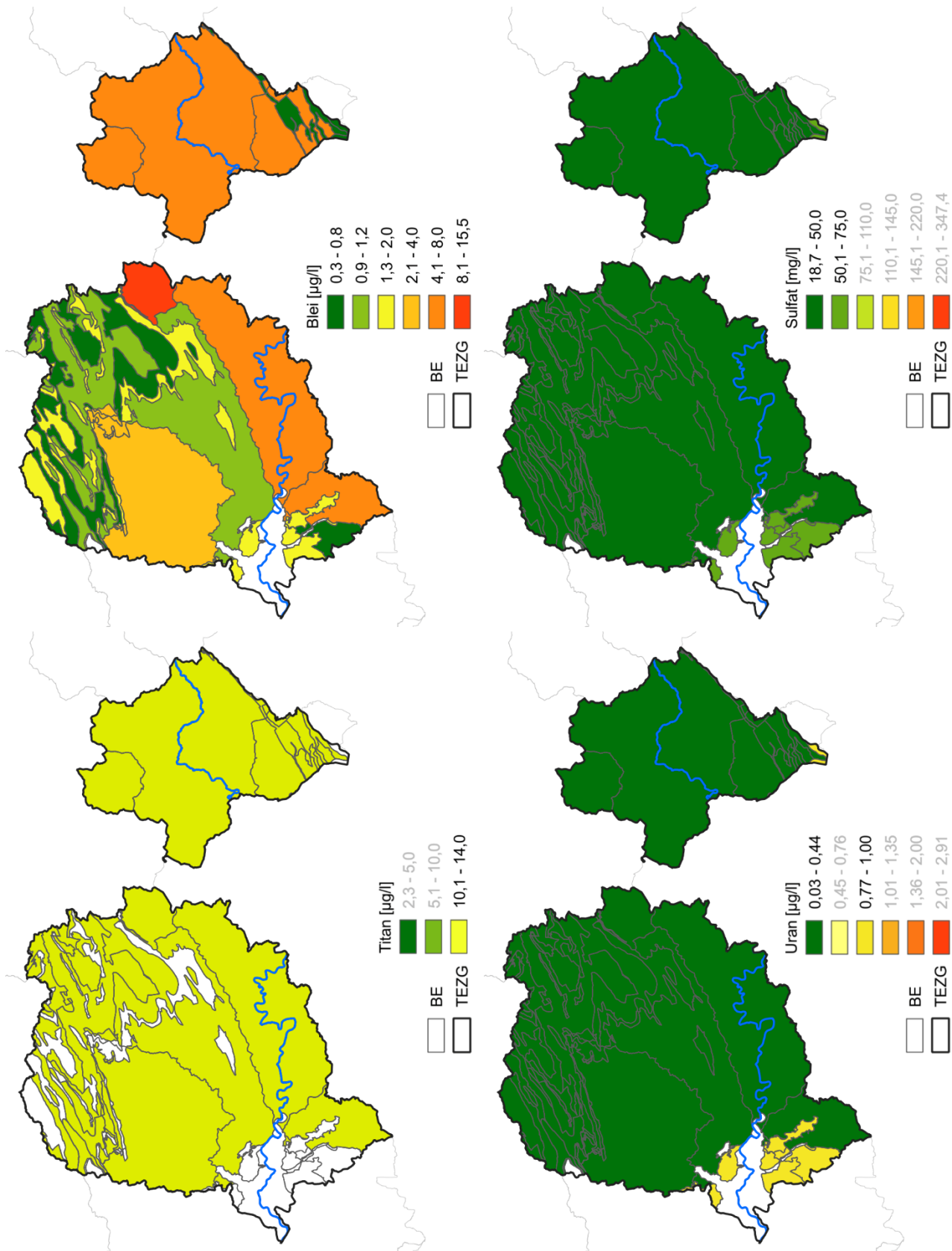


Abb. 25-8: HGW_{ges} für Blei, Sulfat, Titan und Uran in den BE des TEZG Sieg

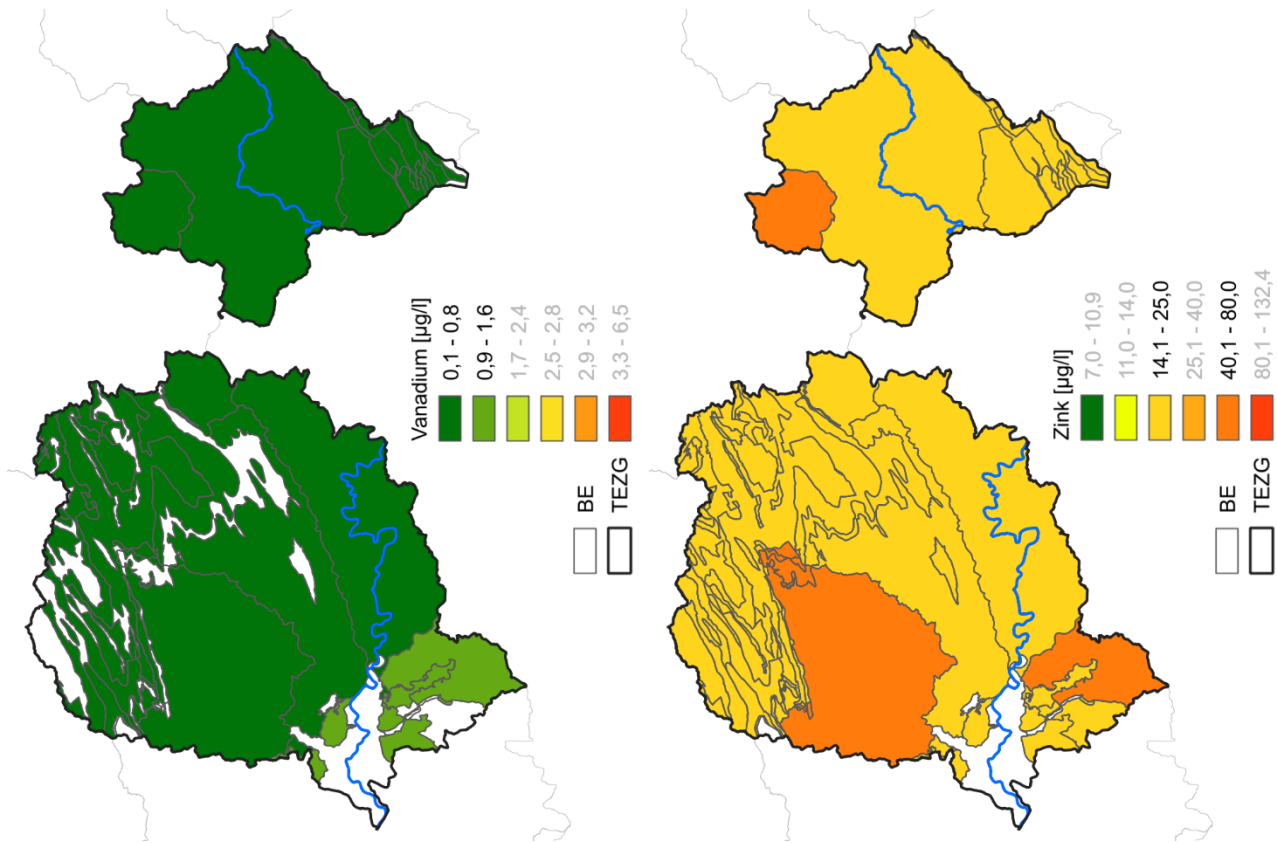


Abb. 25-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE des TEZG Sieg

26 Lahn

26.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Lahn erstreckt sich von NRW über Hessen bis nach Rheinland-Pfalz, wo die Lahn bei Lahnstein in den Rhein mündet. Etwa 3 % des Gesamt-Einzugsgebietes liegen in NRW (Wasserportal Rheinland-Pfalz). Mit einer Größe von rund 180 km² liegt der nordrhein-westfälische Abschnitt des TEZG am südöstlichen Rand NRWs und wird durch die Landesgrenze in zwei räumlich getrennte Gebiete gegliedert (s. Abb. 26-1).

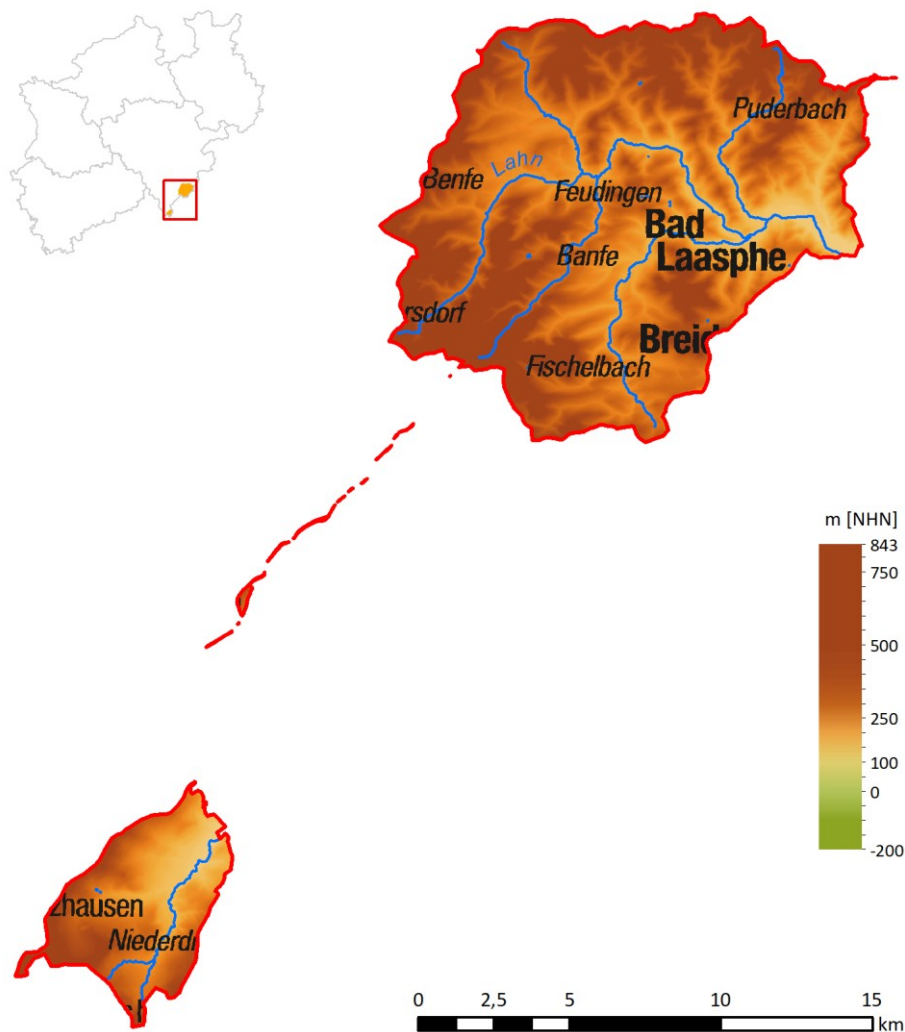


Abb. 26-1: TEZG Lahn

Der nordöstliche, größere Bereich gehört dem Rothaargebirge (Hochsauerland) an. Die Lahn entspringt hier nahe der Ortschaft Lahnhof (Stadt Netphen) auf einer Höhe von etwa 600 m ü. NHN (WMS DTK

100). Sie fließt zunächst nordostwärts, ehe sie nach Osten/Südosten umschwenkt und nach etwa 23 km bei Bad Laasphe auf hessisches Gebiet übertritt. Von der Quelle ausgehend münden unter anderem die Ilse, die Banfe (Oberster Fischelbach) sowie die Laasphe in die Lahn (MULNV 2021 b).

Der südwestliche Teil des TEZG kann naturräumlich sowohl dem Siegerland als auch dem Dilltal und randlich dem Westerwald zugeordnet werden. Der Haigerbach (Nebenfluss der Dill) strömt von Süden nach Nordosten durch das Gebiet. Als weitere Nebengewässer sind beispielsweise der Weierbach und der Lützelbach zu nennen, die von Westen her dem Haigerbach zuströmen (MULNV 2021 b).

In Abbildung 26-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 26-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des TEZG.

Das TEZG ist überwiegend land- und forstwirtschaftlich geprägt, wobei etwa 72 % seiner Fläche von Wald und Forst und etwa 20 % von landwirtschaftlichen Grünlandflächen eingenommen werden. Etwa 6 % werden als Siedlungs- und Gewerbefläche sowie unter 1 % als Ackerfläche ausgewiesen (MULNV 2021 b).

Geologie/Hydrogeologie

Das TEZG der Lahn liegt im Bereich der Südflanke des Siegener Antiklinoriums (Hauptsattel) im Übergang zur Dill-Mulde im Südosten sowie der Wittgensteiner Mulde im Nordosten. Der Untergrund wird hauptsächlich durch paläozoische Festgesteine des Rheinischen Schiefergebirges aufgebaut, deren Alter im Allgemeinen nach Südosten und Nordosten – in Richtung der Muldenstrukturen – hin abnimmt (Unter-, Mittel-, Oberdevon bis Unterkarbon; Abb. 26-2). Das devonzeitliche Festgestein wird im Wesentlichen aus geschieferten Ton-, Schluff- und Sandsteinen aufgebaut, während ganz im Nordosten des TEZG das Karbon aus geschieferten Tonsteinen und Lyditen, z. T. mit Kalksteinen, besteht (IS GK 100).

Im Zuge der variszischen Orogenese wurden die Gesteine intensiv gefaltet und zerrüttet, sodass sich neben den zuvor genannten Großstrukturen auch zahlreiche kleinere Südwest – Nordost streichende Sattel- und Muldenstrukturen gebildet haben, die durch zumeist querschlägige Störungen durchbrochen werden.

Im Süden werden die paläozoischen Gesteine und Strukturen von der känozoischen Basaltdecke des Westerwaldes überdeckt (Abb. 26-2; IS GK 100). Im Oberoligozän und hauptsächlich im Miozän setzte infolge einer jungtertiären Landhebung und dadurch entstandener Zerrungsrissen der basische Vulkanismus der Region ein und erschuf Gangbasalte, Basaltdecken und Basalttuffdecken, welche die Landschaft überprägten (VON KAMP 1985 a).

Sowohl die devon- als auch die karbonzeitlichen Festgesteine weisen als Kluftgrundwasserleiter überwiegend sehr geringe bis geringe Trennfugendurchlässigkeiten auf. Im Bereich von Sandsteinbänken können auch höhere Durchlässigkeiten vorliegen. Im Süden des TEZG bilden die auflagernden tertiärzeitlichen Vulkanite den oberen (Kluft-)Grundwasserleiter. Sie sind als mittel bis mäßig durchlässig einzustufen (IS HK 100).

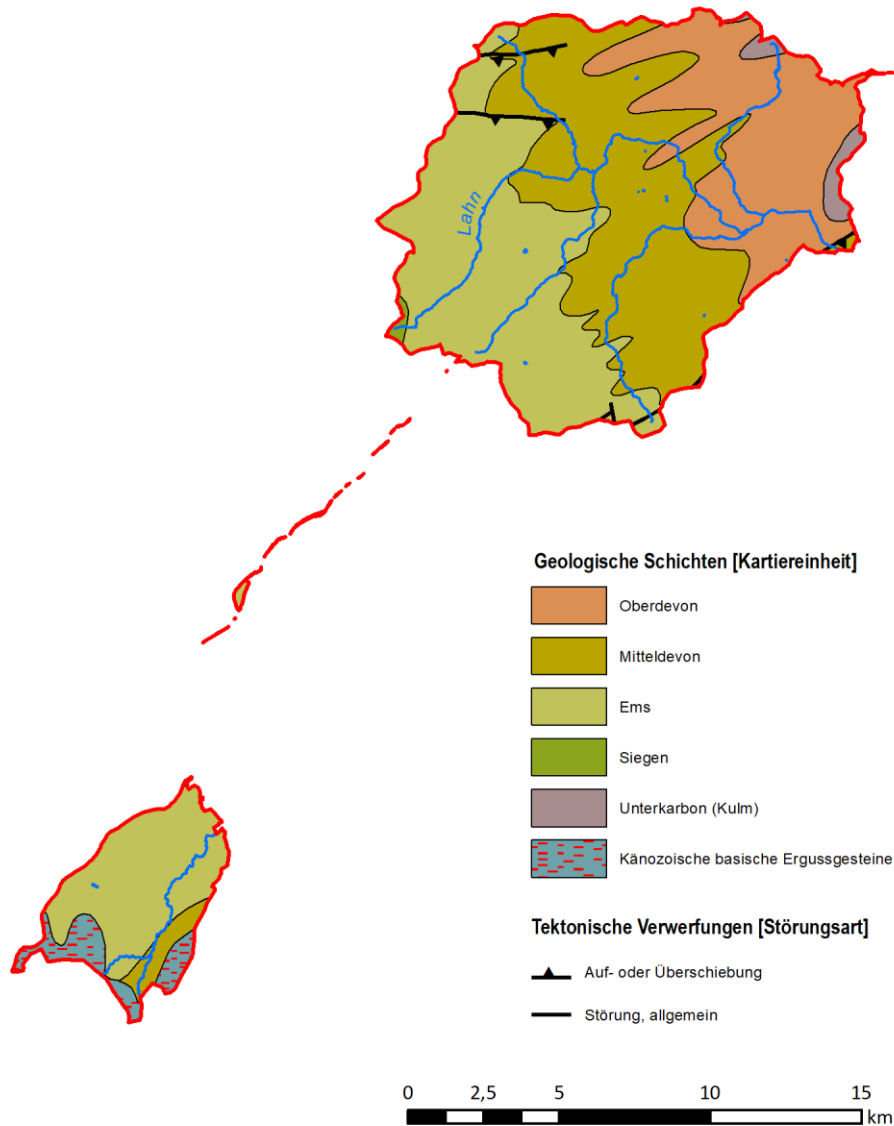


Abb. 26-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Lahn

Die Wasserbewegung des Kluftgrundwassers in den devon- und karbonzeitlichen Festgesteinen des TEZG ist hauptsächlich auf offene Trennfugen beschränkt und die Wasserwegsamkeiten sind aufgrund der tektonischen Beanspruchung stark richtungsabhängig. Die bevorzugte Durchlässigkeit folgt dem Streichen des Rheinischen Schiefergebirges in der Richtung Südwest-Nordost (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Zahlreiche Quellaustritte speisen die Oberflächenwässer (IS Qk). Sie sind i. d. R. an querschlägige Störungen, Schichtgrenzen sowie die oberflächennahe Auflockerungszone gebunden.

Lagerstätten und Mineralisation

Große Erzvorkommen bzw. Erzbezirke sind im TEZG der Lahn innerhalb NRW nicht bekannt. Stellenweise treten Vererzungen in Form von hydrothermalen Erzgängen auf. Im nordöstlichen Teilgebiet beinhalten diese primär Bleierze, während im südwestlichen Teilgebiet Zink- und Eisenerzgänge hinzukommen (IS Erz; VON KAMP 1985 b).

Aber nicht nur in Bereichen von Erzvorkommen können erhöhte geogene Schwermetallgehalte vorliegen. VOGTMANN & SHEPS & FRIEDRICH (1986 b) halten fest, dass durch anoxische Bedingungen in marinen Sedimentschlämmen eine verstärkte Bindung von Schwermetallen in den Sedimenten begünstigt wird. Grundsätzlich können somit auch in Tonsteinen des Rheinischen Schiefergebirges erhöhte Schwermetallgehalte angetroffen werden.

26.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 26-3 und Tabelle 26-1 wird ein Überblick über die im TEZG Lahn abgegrenzten BE gegeben.

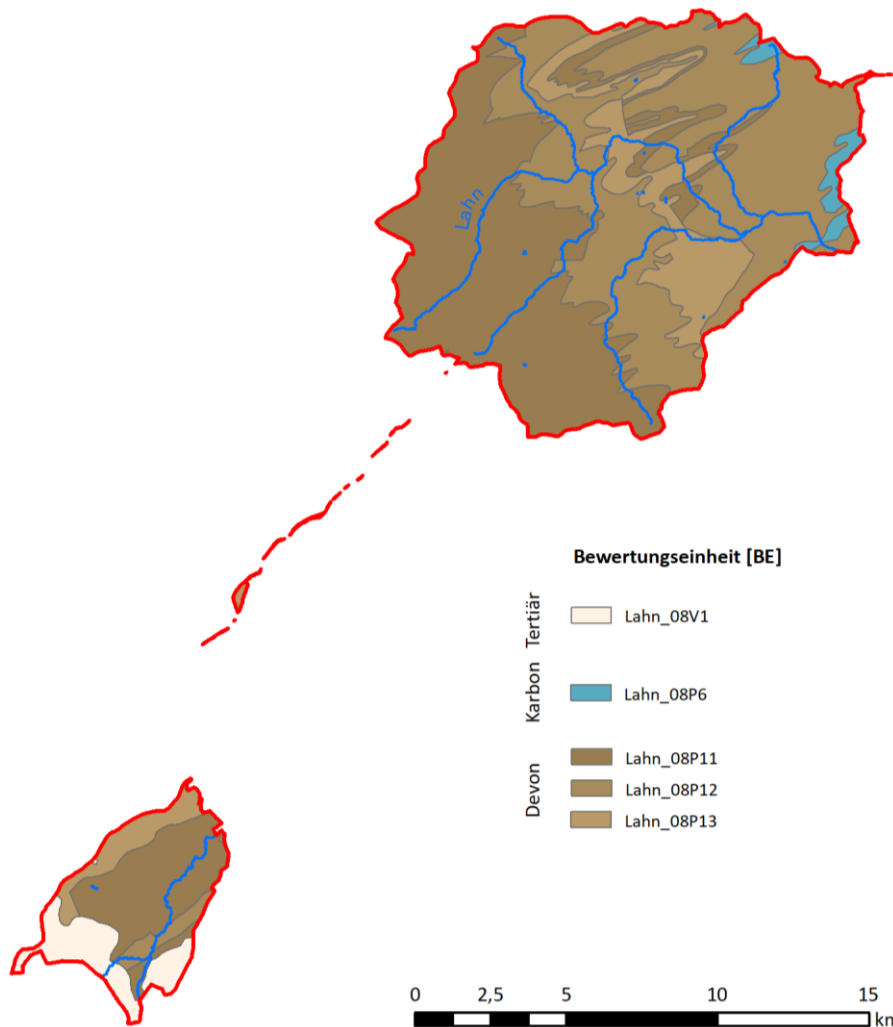


Abb. 26-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Lahn

Tab. 26-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Lahn

Lahn_		Fläche [km ²]
08V1	känozoische Basalte und Tuffe	7,2
08P6	karbonische Schiefer, karbonatisch	3,2
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	77,4
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	71,6
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	21,8

Die BE im TEZG der Lahn sind verhältnismäßig klein und weisen überwiegend eine geringe Datendichte auf. Um dennoch möglichst umfassend auswerten zu können, wurden sinnvolle Zusammenschlüsse von BE im Wahrscheinlichkeitsnetz geprüft und umgesetzt. So wurden die karbonatischen Schiefer (BE 08P12 und 08P6) im TEZG der Lahn mit den entsprechenden BE des nördlich angrenzenden TEZG Eder gemeinsam ausgewertet. Mit den BE 08P11 und 08P13 wurde ebenso verfahren.

Die Auswertung der kleinräumigen känozoischen Basalte und Tuffe (BE 08V1) erfolgte gemeinschaftlich für alle BE der HGC.

Im Wahrscheinlichkeitsnetz konnte anhand der Normalpopulation die Validität der Zusammenschlüsse bestätigt werden.

26.3 Ergebnisse

In Tabelle 26-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 26-4 bis 26-7 in Karten dargestellt.

Im TEZG der Lahn zeigen sich die ermittelten HGW unter Berücksichtigung der Beurteilungswerte überwiegend unauffällig (vgl. Tab. 26-2). Im Zusammenhang mit der zum Teil geringen Datendichte ($n > BG$) für z. B. Kobalt, Eisen und Nickel ist jedoch festzuhalten, dass sich die 90. Perzentile bei Ergänzung neuer Messstellen/weiterer Messwerte noch verschieben können.

Tab. 26-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Lahn			
		08P11	08P12 08P6	08P13	08V1
Ag	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
As	n > BG	15		15	7
	50. P.	0,2		0,2	0,7
	90. P.	0,3	n.a.	0,3	1,7
	Max. N.	0,3		0,3	2,0
B	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Ba	n > BG	24	10	24	
	50. P.	10,1	18,4	10,1	
	90. P.	23,1	44,1	23,1	n.a.
	Max. N.	41,0	49,0	41,0	
Be	n > BG	16		16	
	50. P.	0,02		0,02	
	90. P.	0,07	n.a.	0,07	n.a.
	Max. N.	0,13		0,13	
Cd	n > BG	18	6	18	7
	50. P.	0,03	0,01	0,03	0,01
	90. P.	0,11	0,02	0,11	0,04
	Max. N.	0,30	0,03	0,30	0,06
Co	n > BG	19	5	19	7
	50. P.	0,1	0,0	0,1	0,3
	90. P.	0,3	0,1	0,3	0,4
	Max. N.	0,4	0,2	0,4	0,4
Cr	n > BG	38		7	
	50. P.	0,3		0,1	
	90. P.	0,6	n.a.	0,5	n.a.
	Max. N.	1,0		2,1	
Cu	n > BG	18	70	18	6
	50. P.	0,5	0,7	0,5	1,4
	90. P.	1,6	1,6	1,6	2,7
	Max. N.	3,2	2,8	3,2	2,0
Fe	n > BG	65	7		6
	50. P.	0,2	0,1		0,3
	90. P.	0,5	0,3	n.a.	0,7
	Max. N.	1,3	0,3		0,8
Hg	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				

Parameter	Kennwert	Lahn			
		08P11	08P12 08P6	08P13	08V1
Mn	n > BG	48	11	48	7
	50. P.	5,2	3,4	5,2	15,4
	90. P.	58,4	19,0	58,4	137
	Max. N.	621,0	34,0	621,0	290
Mo	n > BG	43	9	10	
	50. P.	0,0	0	0,1	
	90. P.	0,4	0,2	0,1	n.a.
	Max. N.	1,8	0,4	0,3	
Ni	n > BG	12	6	12	6
	50. P.	2,5	0,7	2,5	1,4
	90. P.	4,6	1,6	4,6	2,6
	Max. N.	7,0	2,2	7,0	2,6
Pb	n > BG	24	7	24	6
	50. P.	0,2	0,2	0,2	0,4
	90. P.	0,8	0,8	0,8	0,6
	Max. N.	1,2	1,1	1,2	0,7
Se	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
SO ₄	n > BG	39	24	39	12
	50. P.	12,6	14,9	12,6	47,2
	90. P.	20,5	21,1	20,5	60,6
	Max. N.	27,0	26,0	27,0	66,0
Ti	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Tl	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
U	n > BG	12		12	14
	50. P.	0,01		0,01	0,12
	90. P.	0,03	n.a.	0,03	0,91
	Max. N.	0,05		0,05	0,93
V	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Zn	n > BG	22	78	22	
	50. P.	4,1	5,4	4,1	
	90. P.	19,4	12,6	19,4	n.a.
	Max. N.	62,0	22,0	62,0	

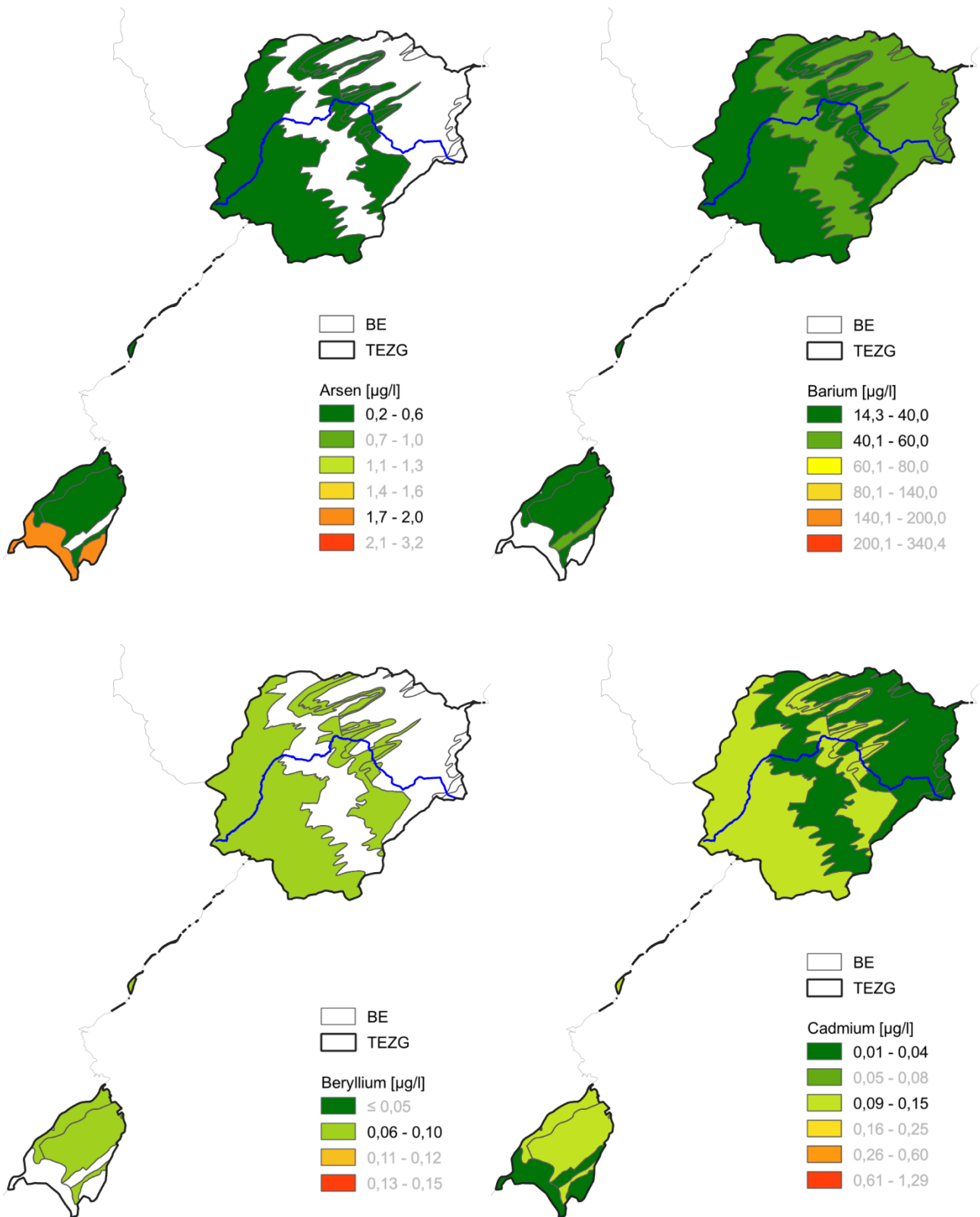


Abb. 26-4: HGW_{ges} für Arsen, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Lahn

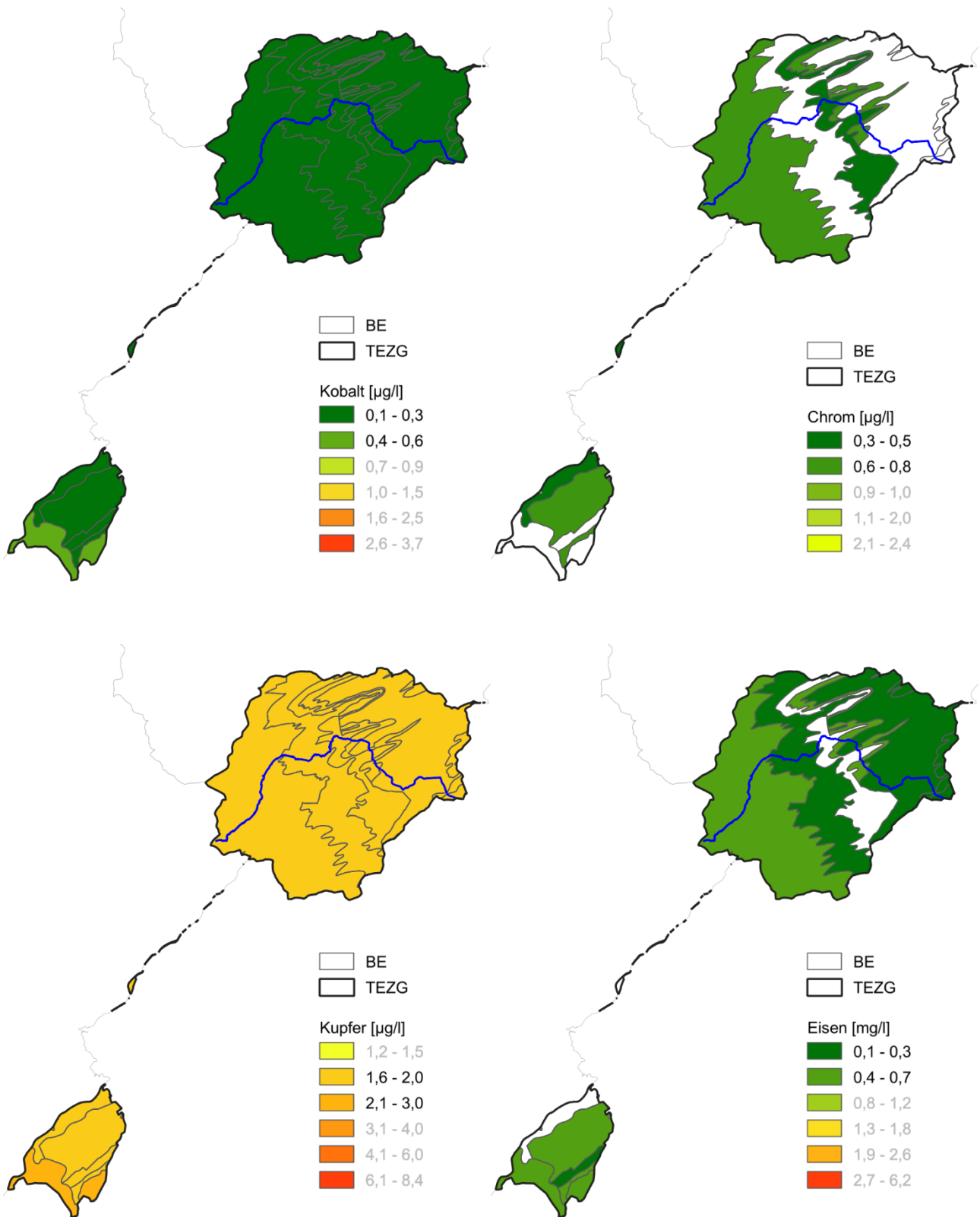


Abb. 26-5: HGW_{ges} für Kobalt, Chrom, Kupfer und Eisen in den BE des TEZG Lahn

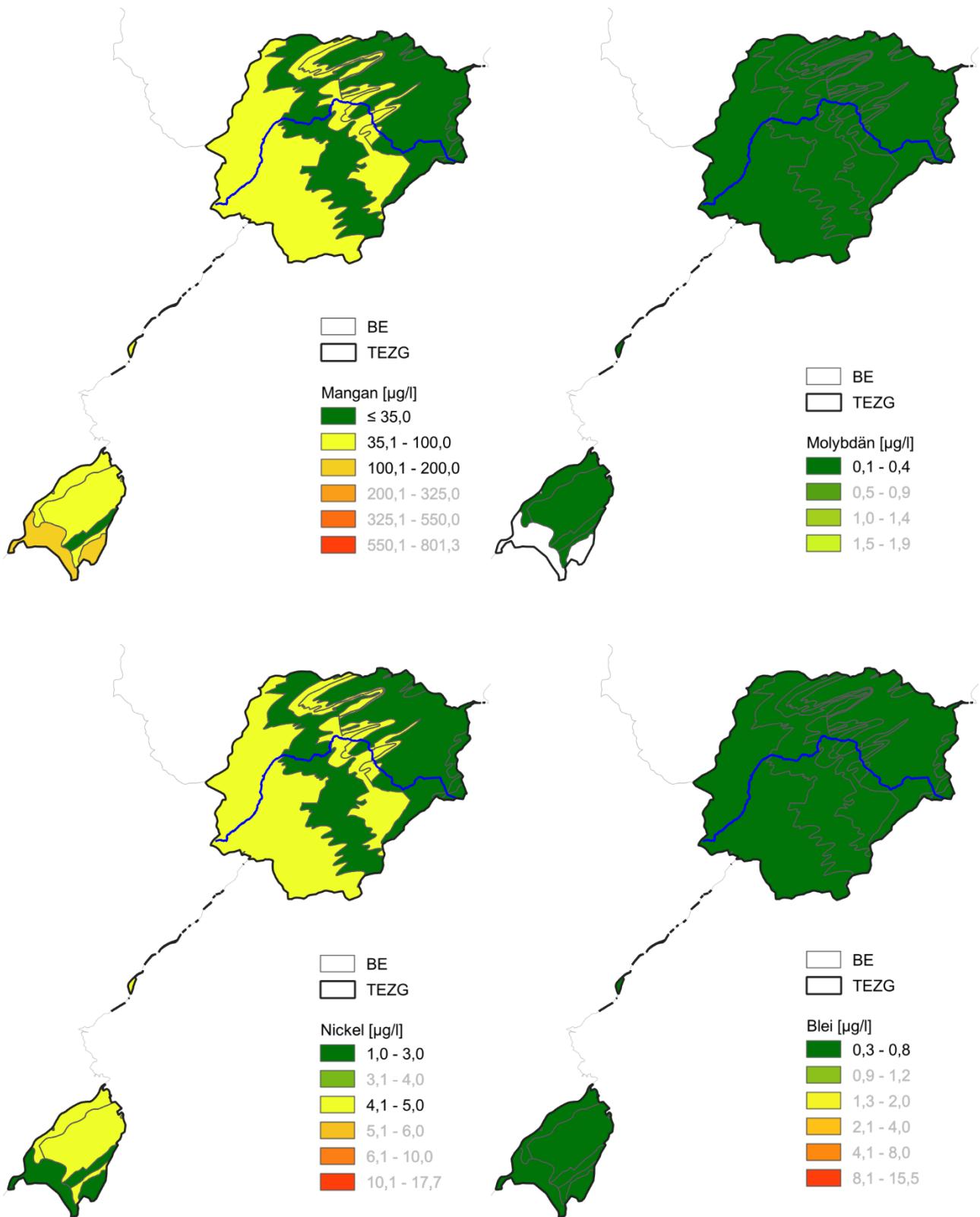


Abb. 26-6: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE des TEZG Lahn

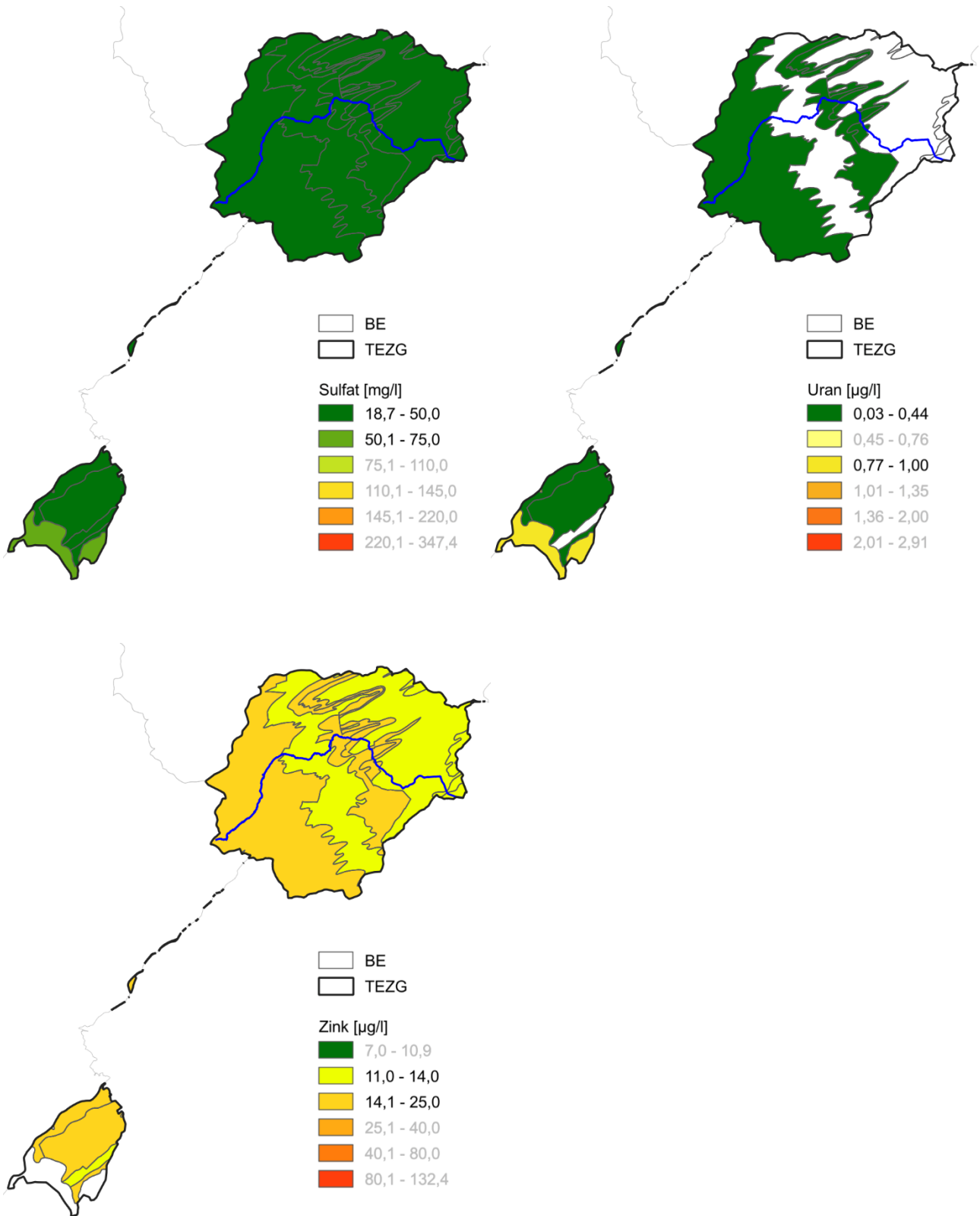


Abb. 26-7: HGW_{ges} für Sulfat, Uran und Zink in den BE des TEZG Lahn

27 Eder

27.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Eder gehört dem Sauer- und Siegerland an und liegt mit einer Größe von rund 639 km² am südöstlichen Rand NRW. Als Teil des Rothaargebirges liegt die Geländeoberfläche im Nordwesten des TEZG bei bis zu 800 m ü. NHN. Der Kahle Asten (süd-)westlich von Winterberg erreicht als zweithöchster Berg NRW eine Höhe von bis zu 840 m ü. NHN. In südöstliche Richtung sinkt das Gelände zum Gebirgsrand hin auf rund 400 m ü. NHN ab (WMS DTK 100). In Abbildung 27-1 wird die physische Karte des TEZG wiedergegeben. Abbildung 27-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.

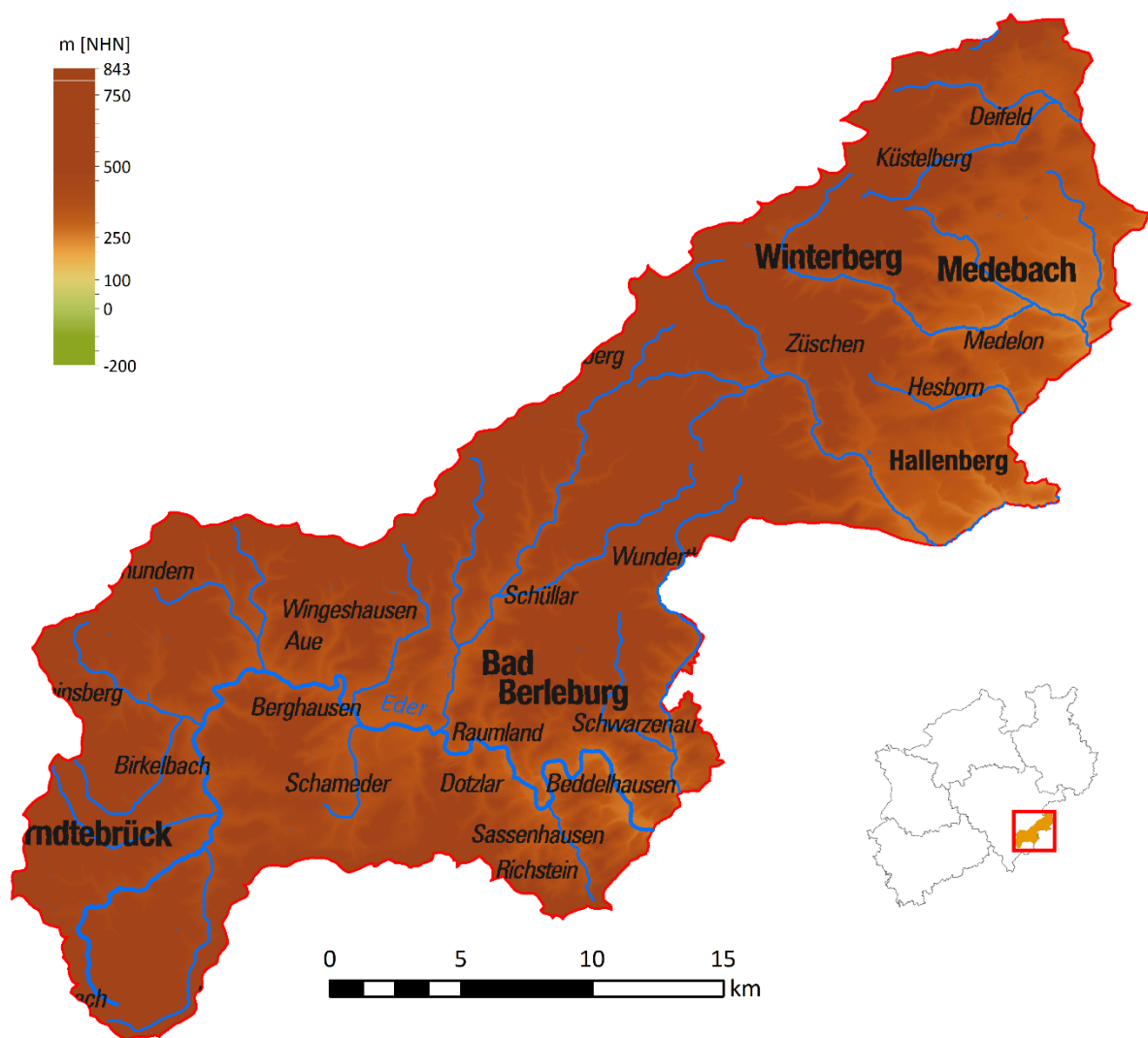


Abb. 27-1: TEZG Eder

Die Gewässer Eder und Odeborn folgen in ihrem Verlauf zunächst dem Gebirgskamm (Südwest – Nordost bzw. Nordost – Südwest), knicken schließlich aber auch in südöstliche Richtung (Fließrichtung von z. B. Nuhne, Orke) zum Gebirgsrand hin ab (Abb. 27-1). In den Höhenlagen sind die Gewässer als Sohlenkerbtäler in das Gebirge eingeschnitten, die mit abnehmendem Gefälle in Mulden- und Auentäler übergehen (MULNV 2005 f).

Rund 65 % der TEZG-Fläche werden von Wald- und Forstflächen eingenommen (MUNLV 2005 h), knapp 30 % fallen einer landwirtschaftlichen Nutzung zu (ATKIS). Dabei werden in der wirtschaftlichen Analyse der Bestandsaufnahme 2004 21 % als Grünlandflächen ausgewiesen (MUNLV 2005 h).

Geologie/Hydrogeologie

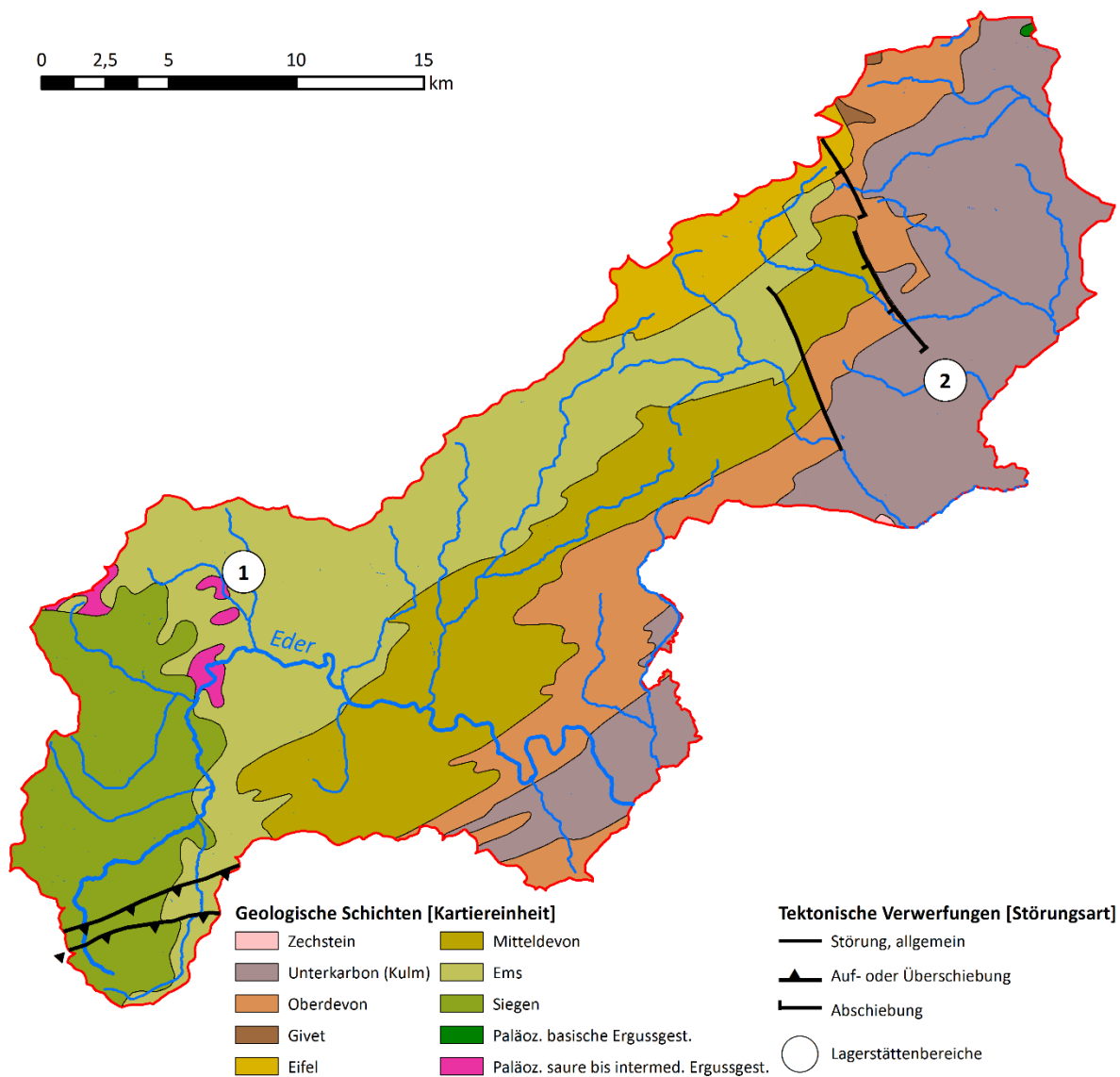


Abb. 27-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Eder

Der Untergrund im TEZG der Eder wird maßgeblich durch paläozoische Festgesteine des Rheinischen Schiefergebirges aufgebaut (IS GK 100). Das TEZG befindet sich in den nordöstlichen Ausläufern des Siegener Antiklinoriums, wo die Faltenachsen der Struktur bereits nach Osten hin abtauchen und schließlich durch den Latrop-Züscherer Sattel abgelöst werden. Nach Südosten geht das Gelände in die Wittgensteiner Mulde über (GD NRW 2017). In Streichrichtung der Sattelachse (Südwest – Nordost) sind unterdevonische bis mitteldevonische Ton- und Schluffsteine aufgeschlossen, die in Richtung der Muldenstruktur zunehmend durch mittel- und oberdevonische Festgesteine (quarzitische Sand- und Tonsteine) überlagert werden. Im Muldenkern stehen karbonische Festgesteine des Kulm Tonschiefers bzw. der Kulm Grauwacke an (IS GK 100). Durch episodisches Eindringen vulkanischer Schmelzen wurden in das Unterdevon Vulkanite (Quarzkeratophyr) eingebettet, die im Bereich Wingshausen (Kreis Siegen-Wittgenstein) oberflächennah anstehen. Quartärzeitliche Ablagerungen beschränken sich auf kleinräumige, schluffig-tonige bis sandige Sedimente entlang der Flusstäler (IS GK 100).

Die paläozoischen Kluftgrundwasserleiter sind intensiv gefaltet und von Störungen durchsetzt. Sie weisen geringe bis mäßige Durchlässigkeiten auf, die in Bereichen der (quarzitischen) Sandsteine leicht ansteigen können. Bedingt durch die tektonische Beanspruchung sind die Wasserwegsamkeiten auf den Trennfugen stark richtungsabhängig (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Zahlreiche Quellaustritte speisen die Oberflächengewässer (IS Qk). Eine flächige Anbindung der Gewässer an das Grundwasser besteht im TEZG der Eder nicht (LANUV 2016 d).

Vermeehrt in den westlichen, bewaldeten Höhenzügen werden die Gewässer von organisch geprägten Bodentypen begleitet (IS BK 50). Hier haben sich in staunassen Bereichen (z. B. Quellen) unter anderem Übergangsmoore ausgebildet (GD NRW 2017).

Lagerstätten und Mineralisation

Im TEZG der Eder sind nur bedingt Erzlagerstätten bekannt. So wurden lediglich im **Bereich Homberg** (Abb. 27-2: Markierung 1) Kluftmineralisationen sulfidischer Erze (Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Pyrit) aufgefunden und bergmännisch untersucht (MÜLLER 1994).

Ausbildungen von Eisen(hydr)oxiden zeigen sich in den unterdevonischen Schichten in Form brauner Rinden oder Krusten oder sind als feinste Partikel in die Gesteinsmatrix eingebettet. Anreicherungen von Hämatit und Goethit sind aber auch auf Klüften oder entlang von Schieferungsbahnen und Schichtfugen zu beobachten (MÜLLER 1994).

Die **Barytlagerstätte Dreislar** im Süden von Medebach (Abb. 27-2: Markierung 2) ist eines der bedeutendsten Barytvorkommen Deutschlands. Dabei konzentrieren sich die Vorkommen weitestgehend auf zwei steil stehende Gangstrukturen (Nordwest – Südost bzw. Nord – Süd streichend), die das karbonische Festgestein durchstoßen. Die Entstehung der gangförmigen Baryte erfolgte epigenetisch/hydrothermal durch den Aufstieg bariumhaltiger Lösungen entlang tief reichender Störungszonen. Zum Teil sind fein verteilte Erze als Nebengemenge in den Baryt eingebunden (GRASSEGGGER 1986).

27.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 27-3 und Tabelle 27-1 wird ein Überblick über die im TEZG Eder abgegrenzten BE gegeben.

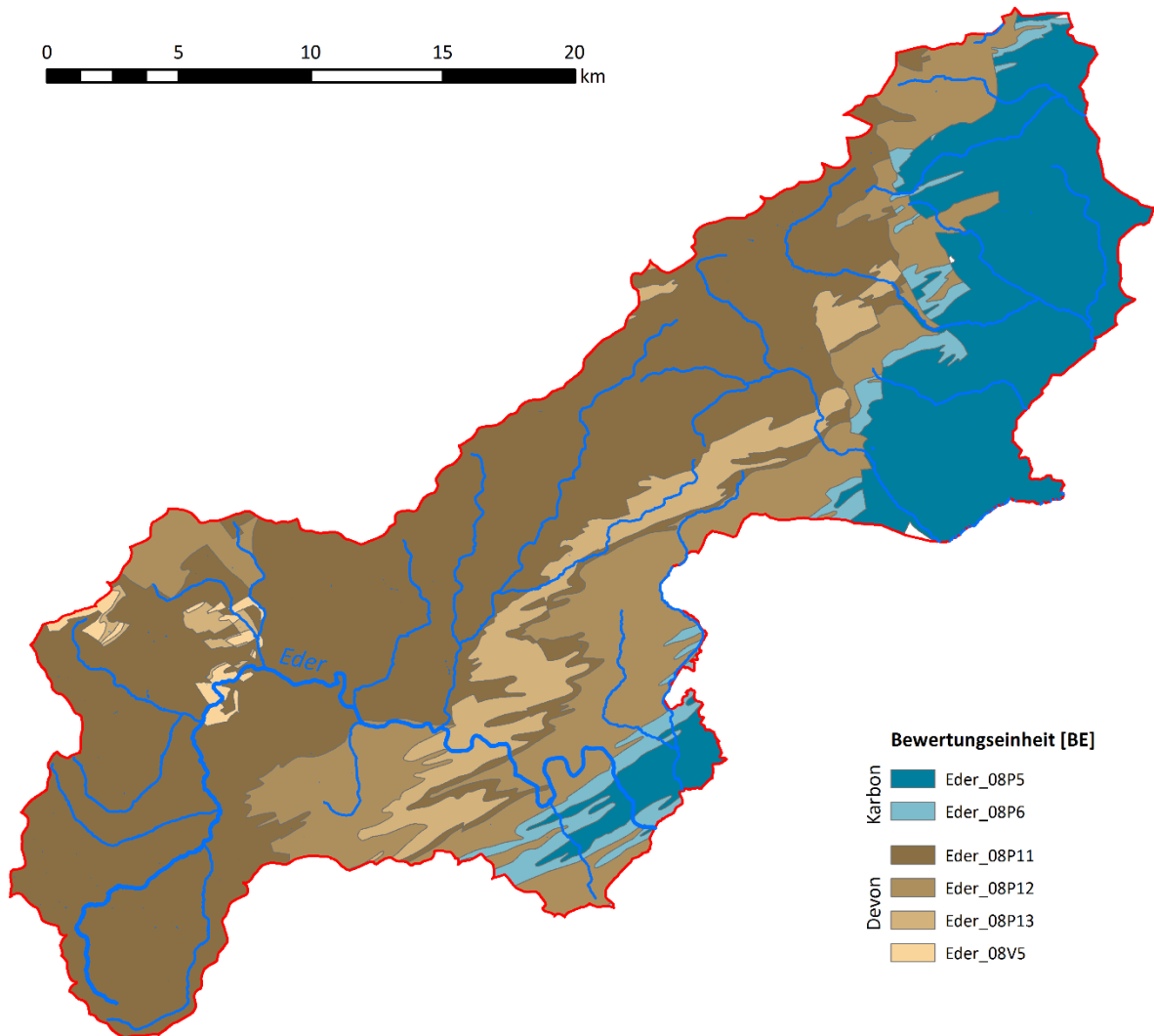


Abb. 27-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Eder

Die BE 08P12 und 08P6 der Eder bzw. 08P11 und 08P13 wurden mit den entsprechenden BE des TEZG Lahn für die Auswertung zusammengeschlossen.

Die Auswertung der kleinräumigen paläozischen Vulkanite (BE 08V5 und 08V6) erfolgte gemeinschaftlich für alle BE der HGC.

Im Wahrscheinlichkeitsnetz konnte anhand der Normalpopulation die Validität der Zusammenschlüsse bestätigt werden.

Tab. 27-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Eder

Eder_		Fläche [km ²]
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	123,2
08P6	karbonische Schiefer, karbonatisch	23,0
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	315,6
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	123,9
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	47,7
08V5	paläozoische saure Vulkanite	5,1

27.3 Ergebnisse

In Tabelle 27-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 27-4 bis 27-7 in Karten dargestellt.

Wie in Kapitel 26.2 und 27.2 dargelegt, wurden BE der TEZG Eder und Lahn in den Auswertungen zusammengeschlossen. Die ermittelten HGW zeigen sich unter Berücksichtigung der Beurteilungswerte überwiegend unauffällig (vgl. Tab. 27-2).

Im Fall der BE Eder_08P11 sind die moorartigen Bodenstrukturen (vgl. Kap. 27.1) gesondert hervorzuheben. In Gewässern wie dem Elberndorfer Bach und der Zinse kann es in diesem Zusammenhang zu natürlich bedingten Schwermetallmobilisierungen kommen, die nur vereinzelt durch Gewässermessstellen erfasst werden. So liegen die höchsten gemessenen Werte für Cadmium und Zink in der Zinse und dem Elberndorfer Bach über dem 90. Perzentil. Auch beispielsweise für Eisen sind hier erhöhte geogene Konzentrationen (über dem HGW), die mit Anreicherungen von Eisenverbindungen in den unterdevonischen Ton- und Schluffsteinen einhergehen, möglich.

Tab. 27-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Eder			
		08P11 08P13	08P12 08P6	08P5	08V5
Ag	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
As	n > BG	15			7
	50. P.	0,2			0,2
	90. P.	0,3	n.a.	n.a.	0,5
	Max. N.	0,3			0,5
B	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Ba	n > BG	24	10	6	12
	50. P.	10,1	18,4	24,7	13,1
	90. P.	23,1	44,1	51,9	24,9
	Max. N.	41,0	49,0	52,0	27,0
Be	n > BG	16			
	50. P.	0,02			
	90. P.	0,07	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,13			
Cd	n > BG	18	6		
	50. P.	0,03	0,01		
	90. P.	0,11	0,02	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,30	0,03		
Co	n > BG	19	5	6	6
	50. P.	0,1	0,0	0,1	0,0
	90. P.	0,3	0,1	0,2	0,2
	Max. N.	0,4	0,2	0,3	0,3
Cr	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Cu	n > BG	18	70	33	13
	50. P.	0,5	0,7	1,3	0,5
	90. P.	1,6	1,6	2,6	1,9
	Max. N.	3,2	2,8	3,6	3,3
Fe	n > BG	17	7	7	12
	50. P.	0,2	0,1	0,1	0,1
	90. P.	0,5	0,3	0,3	0,4
	Max. N.	0,8	0,3	0,3	0,5
Hg	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				

Parameter	Kennwert	Eder			
		08P11 08P13	08P12 08P6	08P5	08V5
Mn	n > BG	48	11	7	11
	50. P.	5,2	3,4	7,2	4,9
	90. P.	58,4	19,0	34,8	72,7
	Max. N.	621,0	34,0	44,0	259,0
Mo	n > BG	6	9		
	50. P.	0,0	0,0		
	90. P.	0,1	0,2	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,2	0,4		
Ni	n > BG	12	6		6
	50. P.	2,5	0,7		0,6
	90. P.	4,6	1,6	n.a.	2,3
	Max. N.	7,0	2,2		3,8
Pb	n > BG	24	7		7
	50. P.	0,2	0,1		0,1
	90. P.	0,8	0,8	n.a.	0,9
	Max. N.	1,2	1,1		1,4
Se	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
SO ₄	n > BG	39	24	24	14
	50. P.	12,6	14,9	18,5	17,5
	90. P.	20,5	21,1	24,7	34,7
	Max. N.	27,0	26,0	28,0	45,0
Ti	n > BG	20			
	50. P.	4,8			
	90. P.	10,1	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	11,0			
Tl	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
U	n > BG	12		15	8
	50. P.	0,01		0,02	0,04
	90. P.	0,03	n.a.	0,12	0,19
	Max. N.	0,05		0,39	0,35
V	n > BG				
	50. P.				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				
Zn	n > BG	22	78	60	12
	50. P.	4,1	5,4	5,4	3,5
	90. P.	19,4	12,6	9,2	16,0
	Max. N.	62,0	22,0	12,0	28,0

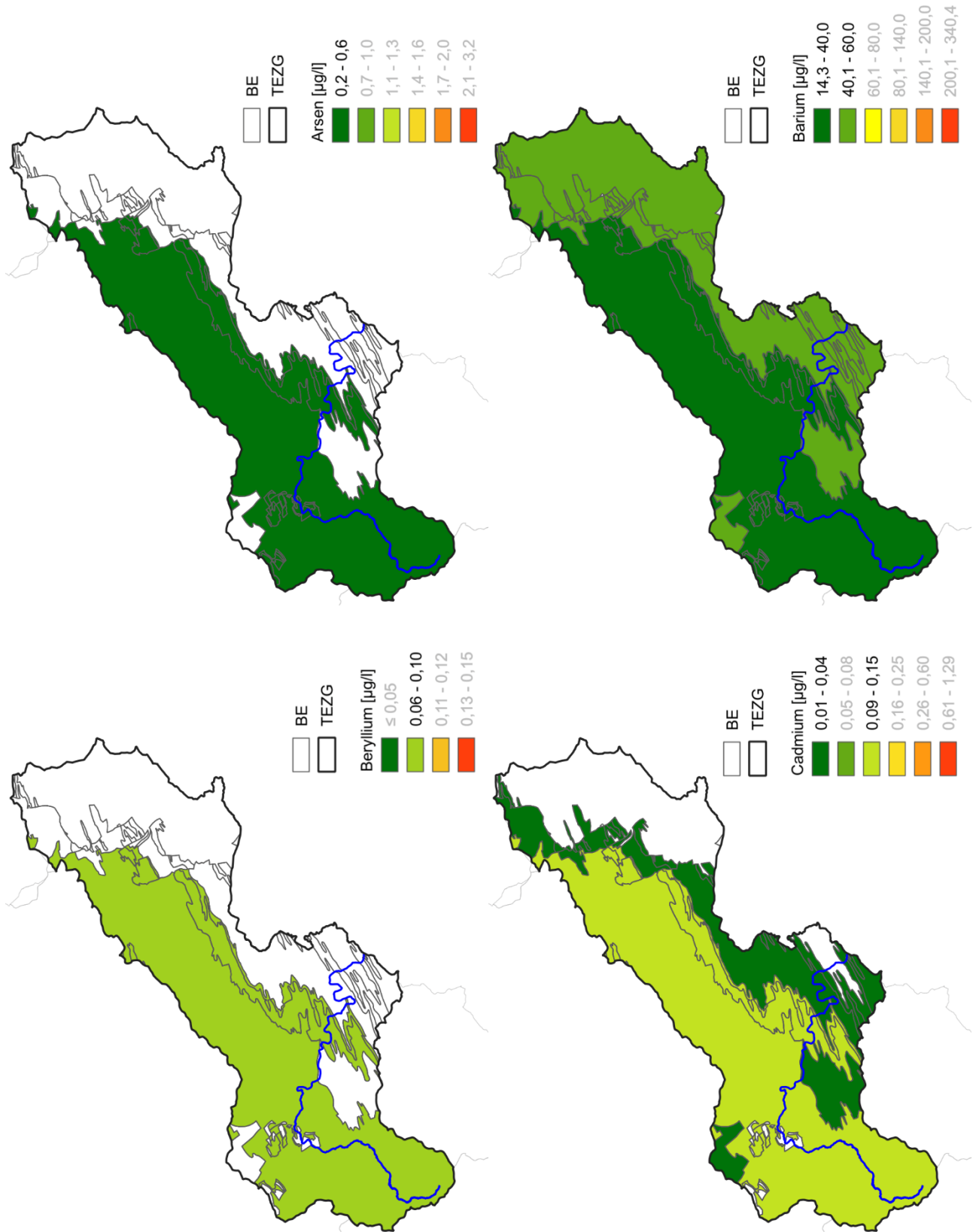


Abb. 27-4: HGW_{ges} für Arsen, Barium, Beryllium und Cadmium in den BE des TEZG Eder

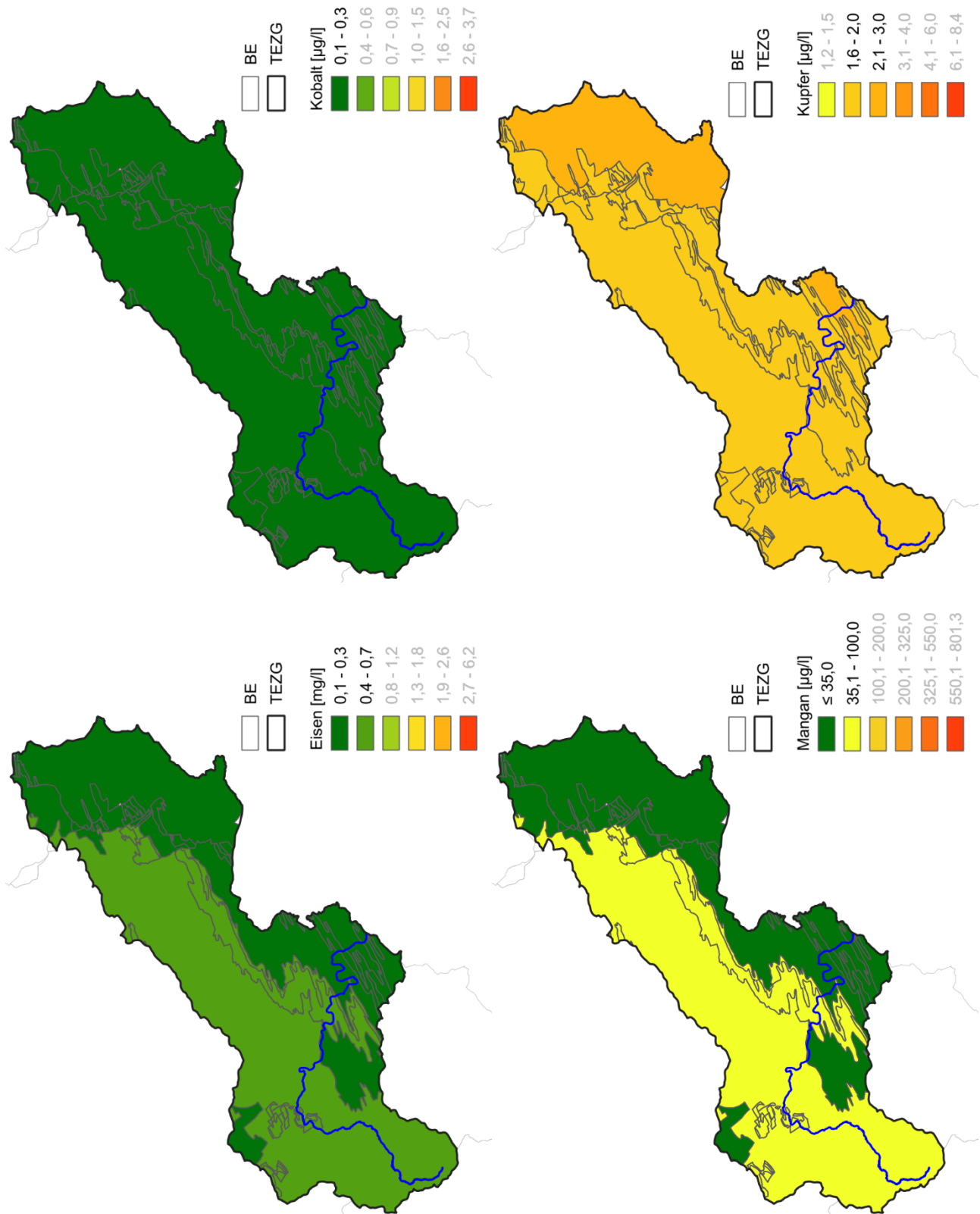


Abb. 27-5: HGW_{ges} für Kobalt, Kupfer, Eisen und Mangan in den BE des TEZG Eder

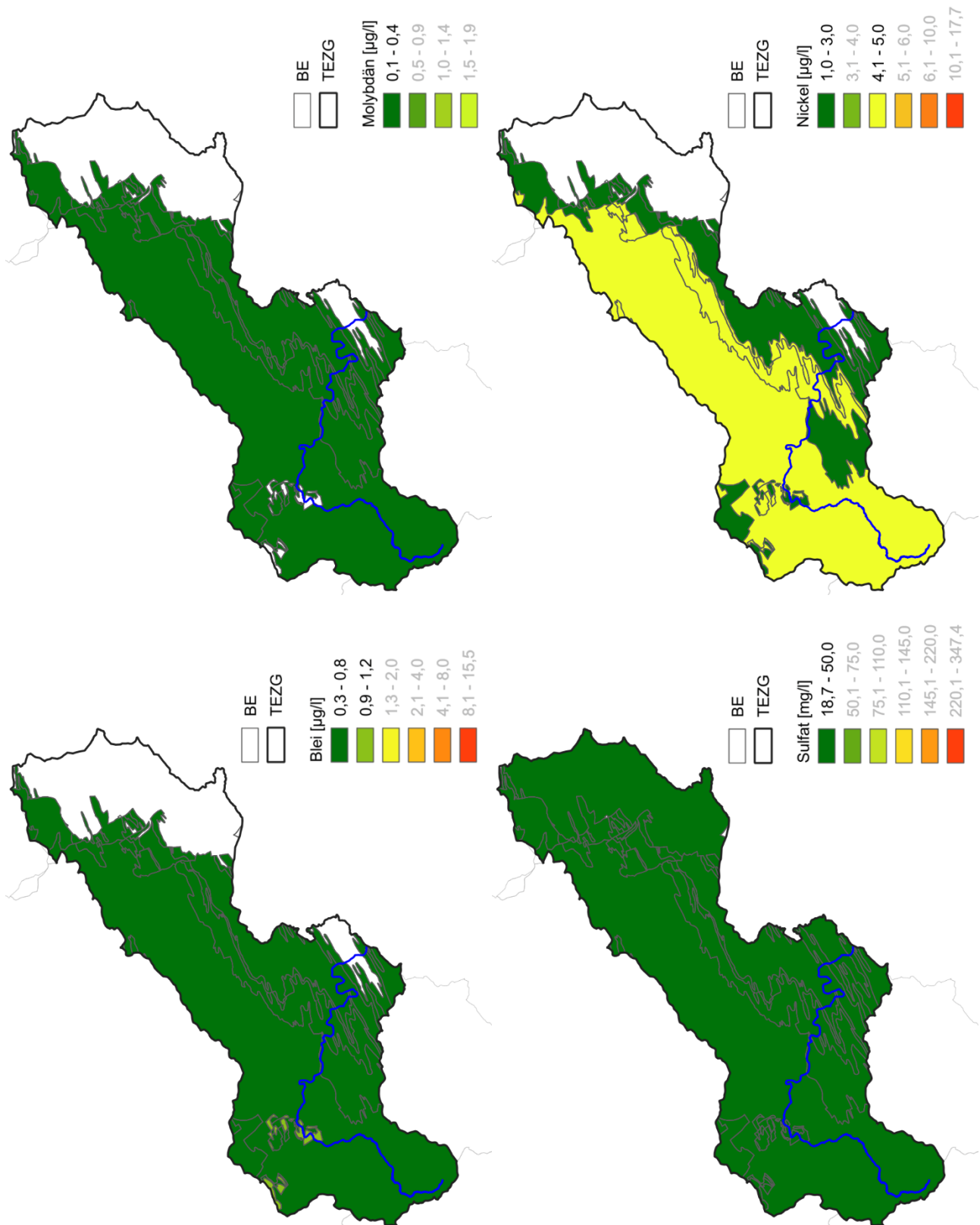


Abb. 27-6: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Sulfat in den BE des TEZG Eder

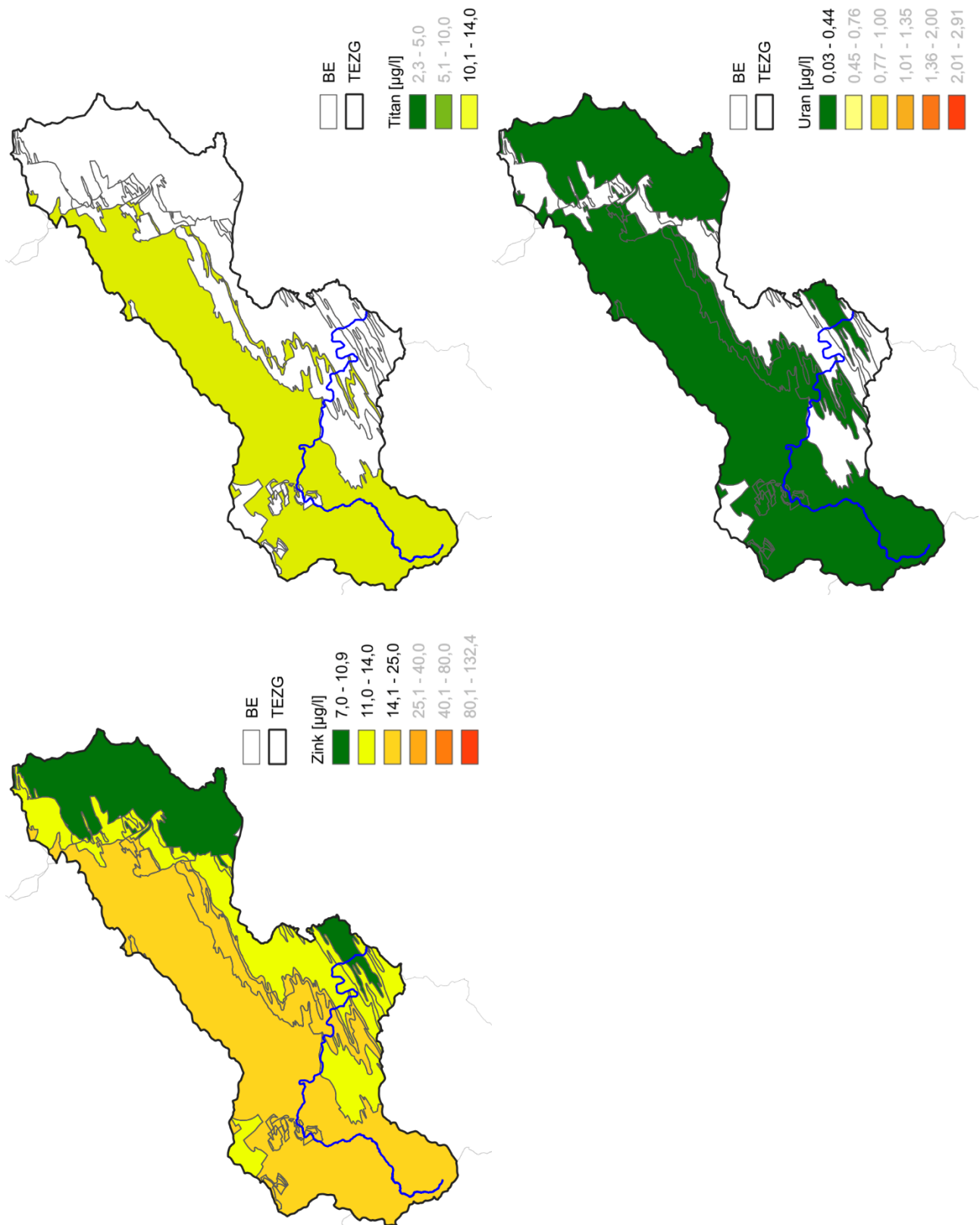


Abb. 27-7: HGW_{ges} für Titan, Uran und Zink in den BE des TEZG Eder

28 Diemel

28.1 Gebietsbeschreibung

In Abbildung 28-1 wird die physische Karte des TEZG der Diemel wiedergegeben. Abbildung 28-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen TEZG.

Mit einer Fläche von 516 km² (knapp 30 % des gesamten Einzugsgebietes) fallen Anteile des Diemel-EZG in den Südosten NRW. Im Westen gehört das TEZG den östlichen Ausläufern des Sauer- und Siegerlandes an und geht nach Osten in das Weserbergland über. Dabei nimmt, ausgehend vom Gebirgsrand des Rothaargebirges (bis zu 761 m ü. NHN am Großen Kluskopf), die Geländehöhe (im Schnitt) sukzessive ab. Die Warburger Börde ganz im Osten des TEZG liegt bei etwa 200 m ü. NHN (WMS DTK 100). Als Mittelgebirgsflüsse haben sich Diemel und Hoppecke in ihren Oberläufen stärker in das Grundgebirge eingeschnitten (Sohlenkerbtal), bereits südlich von Bredelar weiten sich die Flusstäler jedoch auf.

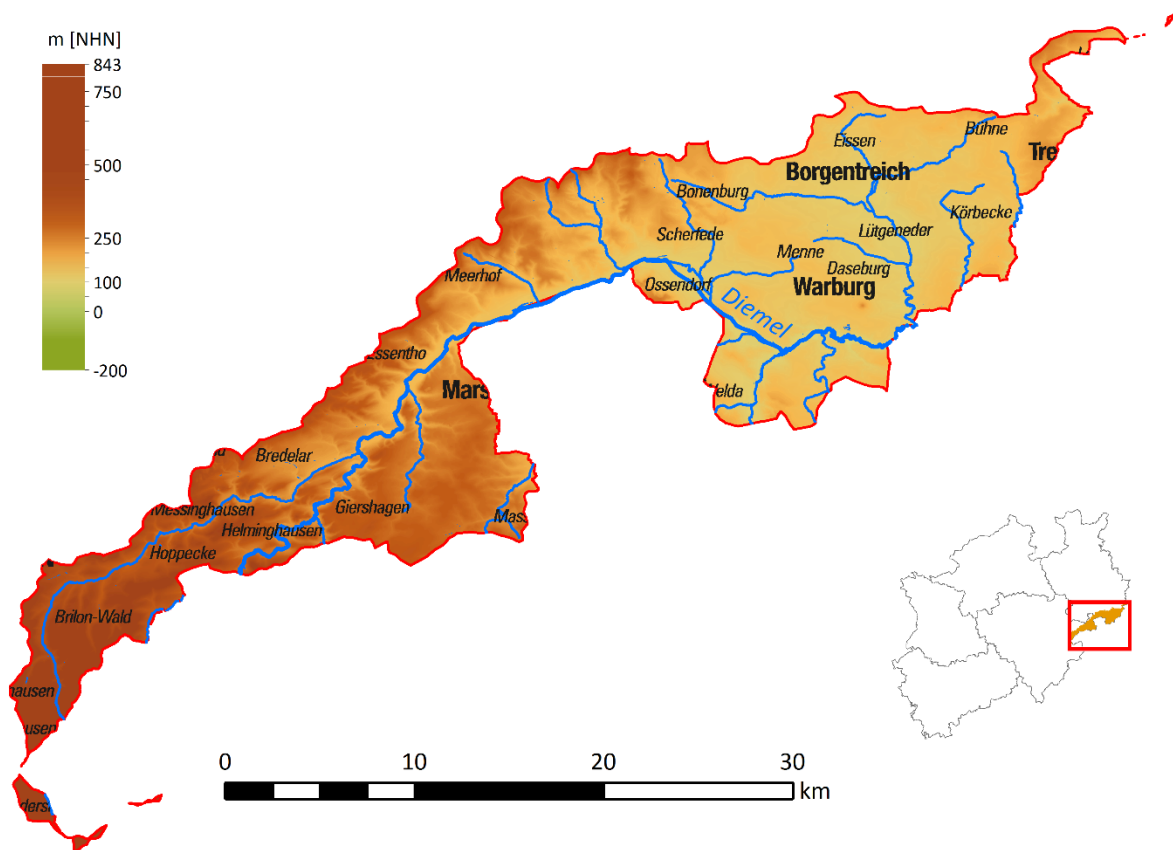


Abb. 28-1: TEZG Diemel

Das TEZG der Diemel wird vorwiegend durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Rund 43 % der Fläche werden als Ackerland genutzt und bis zu 16 % als Grünland (MUNLV 2005 h). Dabei ballen sich die landwirtschaftlichen Flächen im Osten des TEZG (Warburger Börde) sowie östlich von Marsberg. Der Westen des TEZG zeichnet sich durch Waldflächen aus.

Geologie/Hydrogeologie

Entsprechend der großräumlichen Zweiteilung des TEZG (Sauer-/Siegerland und Weserbergland) unterscheidet sich auch sein geologischer Aufbau. Als markante tektonische Elemente sind hierbei Nord – Süd verlaufende Störungen (z. B. Westheimer/Wrexener/Hardehausener Abbruch) aufzuführen, die das Egge-Gebiet in eine Schollentreppe zergliedern. Sie leiten im Süden in die Hessische Senke über und sind Teil einer überregionalen Schwächezone der Erdkruste. Während das Paläozoikum des östlichen Rheinischen Schiefergebirges im Westteil des TEZG noch am Ostsauerländer Hauptsattel aufgeschlossen ist, wird es bereits westlich der Abbruchzone von ungefalteten, diskordant auflagernden Festgesteinen des Perms überdeckt. Durch den mehrere hundert Meter großen Versatz an der Schollentreppe wird der östlich angrenzende Bereich des Weserberglandes zur Gänze durch mächtige, ungefaltete Sedimente der Trias geprägt (GD NRW 2017).

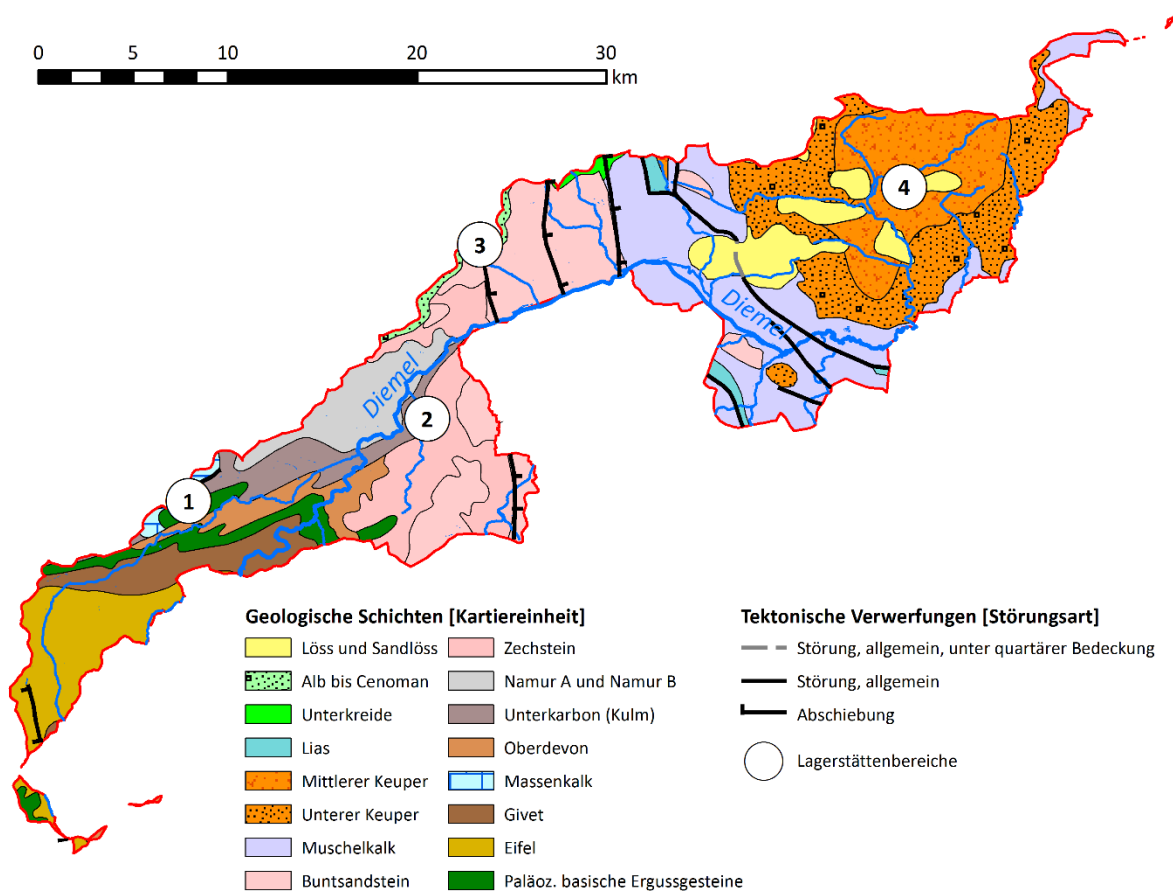


Abb. 28-2: Geologie und Lagerstätten im TEZG Diemel

Die Festgesteine des Rheinischen Schiefergebirges liegen vorwiegend als gebänderte Ton- und Schluffsteine sowie geschieferte, zum Teil kalkhaltige und quarzitisches Sandsteine vor. Im Randbereich der Ostsauerländer Hauptsattels streichen in schmalen Bändern auch devonische Vulkanite (Diabas) aus (IS GK 100). Im Nordwesten des TEZG (im Übergangsbereich zu den TEZG Lippe und Ruhr) sind in den südlichen Randstrukturen (komplexe, gefaltete Sättel und Mulden; GD NRW 2017) des Briloner

Massenkalk-Komplexes ebenfalls devonische Vulkanite sowie verkarstete Kalksteine aufgeschlossen. Die Kalksteine und Dolomite des Mittleren bis Oberen Zechsteins sind bereichsweise von feinkörnigen Sandsteinen des Oberen Buntsandsteins überlagert (IS GK 100). Im Bereich der Schollentreppe sowie weiter östlich der großen Abschiebungen ist der Untergrund infolge intensiver Bruchtektonik kleinräumig zergliedert, sodass wechselnde Schichtglieder anstehen (GD NRW 2003; IS GK 100). Grundlegend kann jedoch ein Übergang von Sandsteinen des Buntsandsteins zu Kalk- und Mergelsteinen des Muschelkalks beobachtet werden. Nach Norden werden diese wiederum durch Schichten des Lettenkohlenkeupers (Erfurt-Formation) sowie des Gipskeupers (Grabfeld-Formation) überlagert (IS GK 100). Lockergesteine des Quartärs sind nur bedingt in den Talauen größerer Gewässer vorzufinden. Die Niederterrassen sind in der Regel von Auenlehmen überdeckt. Im Bereich des Keupers (Warburger Börde) sind vermehrt Lössablagerungen aufzufinden sowie Anmoore und Niedermoore. Die Vermoorung der Flusstäler steht in Verbindung mit Subrosionserscheinungen und den damit verknüpften Senkungen der Gipskeuper-Schichten (KNAPP 1986). Die Gewässer Eggel, Eder, Riepener Bach und Vombach durchfließen in diesem Zusammenhang meist breite, (stark) vermoorte Täler (KNAPP 1986).

Entsprechend der Zergliederung des TEZG der Diemel wechseln auch die Durchlässigkeiten der Kluft- und Karstgrundwasserleiter und sind eng an die tektonische Beanspruchung des jeweiligen Bereiches gekoppelt (IS HK 100). Während in den paläozoischen Kluftgrundwasserleitern im Schnitt geringe bis sehr geringe Durchlässigkeiten anzutreffen sind, werden im Perm mitunter leicht verkarstete Kluftgrundwasserleiter angetroffen, die mäßige Durchlässigkeiten erreichen. Die Gesteine des Unteren und Oberen Muschelkalks werden als gut durchlässige, karbonatische Kluft- und Karstgrundwasserleiter angesprochen (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

Lagerstätten und Mineralisation

Das TEZG der Diemel grenzt in seinem Nordwesten an den Süden des **Briloner Riffkomplexes** (Abb. 28-2: Markierung 1) an und beinhaltet somit einen Teilbereich des in Kapitel 21.1 beschriebenen Galmei-Distriktes mit seinen Vererzungen.

Im **Marsberger Raum** (Abb. 28-2: Markierung 2) befinden sich Erzlagerstätten, die voraussichtlich bereits seit dem 9. Jahrhundert zur Gewinnung von Buntmetallerzen – vor allem Kupfererzen – genutzt wurden (FARRENSCHON & OESTERREICH 2008). Dabei wurden neben zahlreichen kupferhaltigen Mergelsteinlagen im Zechstein (SCHAEFFER & HEIN 1985) auch oxidische, an Störungszonen gebundene Kupfererze aufgefunden, deren Entstehung vermutlich hydrothermalen Natur ist (GD NRW 2003). Das Königliche Oberbergamt zu Bonn (1890) weist mit zunehmender Teufe auf einen Übergang zu geschwefelten Erzen hin. SCHAEFFER & HEIN (1985) führen zudem an, dass aufgefundene Kalkspatgänge (kretazisch-tertiär) unter anderem auch Baryt und Hämatit führen.

Oberstromig des **Wäschebaches bei Blankenrode** (Abb. 28-2: Markierung 3) treten entlang des Westheimer Abbruchs Vererzungen auf, die dem Aufstieg hydrothermalen Lösungen zugeschrieben werden (GD NRW 2003; FARRENSCHON & SKUPIN 1991). Bei den Vorkommen handelt es sich überwiegend um Blei- und Zinkerze, es werden aber auch Brauneisenerze sowie Pyrite und untergeordnet Kupfer

angetroffen (GD NRW 2003; BEINLICH & KÖBLE 2007). Durch Aufstiege hydrothormaler Erzlösungen entlang von Begleitstörungen des Westheimer Abbruchs kam es auch weiter südöstlich (bei Heddinghausen) zur Ausbildung von Erzen (FARRENSCHON & OESTERREICH 2008). Besonders in den Karbonatgesteinen der Leine-Formation (Zechstein) treten Vererzungen in Form von Bleiglanz, Zinkblende und Galmei auf (FARRENSCHON & OESTERREICH 2008).

Im Bereich der tiefgreifenden Störungen steigen hochmineralisierte, oftmals sulfatische Tiefengrundwässer auf (MICHEL & ADAMS & SCHOLLMAYER 1998); auch weiter östlich im Verbreitungsgebiet des **Gipskeupers** (Abb. 28-2: Markierung 4) liegen stark sulfatische (Karst-)Wässer vor (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016).

28.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 28-3 und Tabelle 28-1 wird ein Überblick über die im TEZG Diemel abgegrenzten BE gegeben.

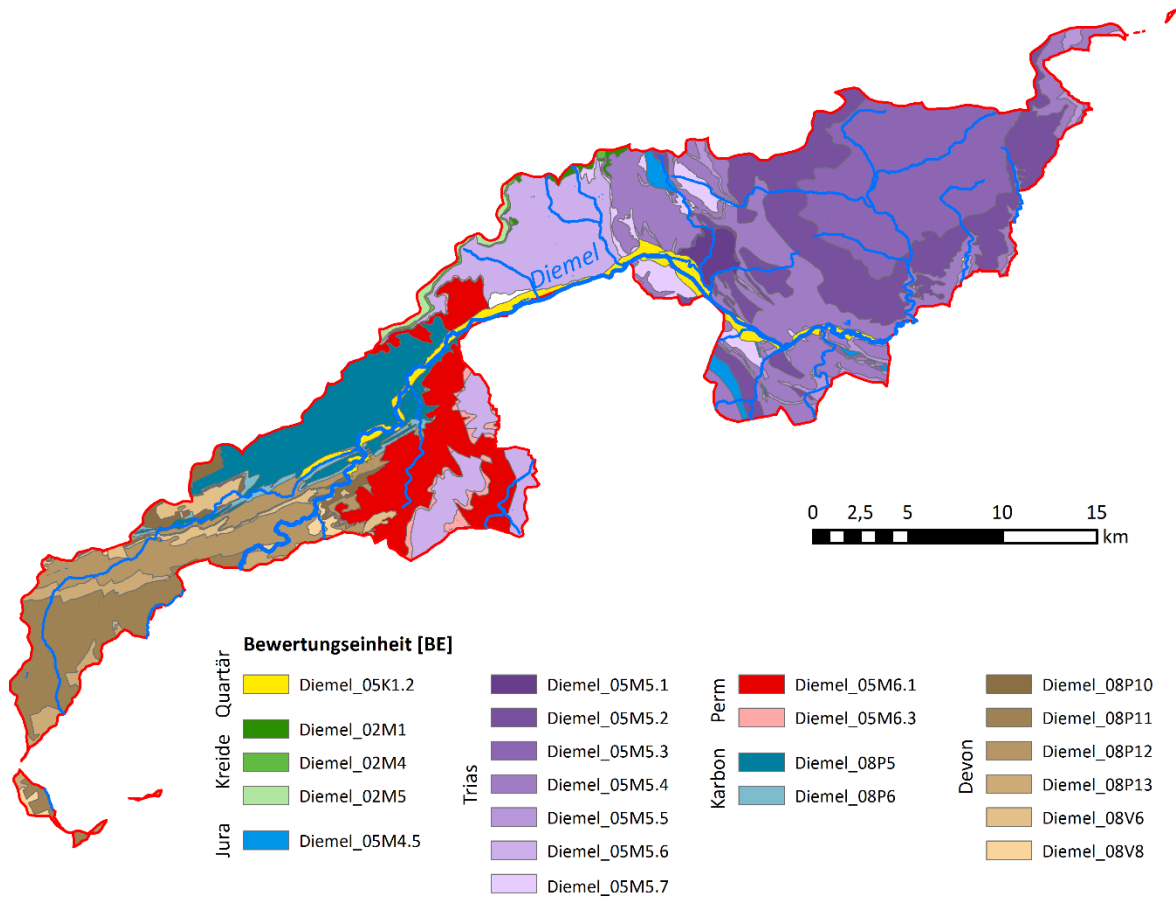


Abb. 28-3: Karte der Bewertungseinheiten im TEZG Diemel

Durch die intensive Zergliederung des TEZG (Kap. 28.1) sind 25 verschiedene BE voneinander abzugrenzen (darunter drei BE mit < 1 km² Fläche). Ein Großteil dieser BE weisen nur geringe Ausmaße auf (mehr

als 50 % mit einer Fläche < 10 km²) und/oder liegen nicht als zusammenhängende Fläche vor, sodass die Anzahl an repräsentativen Gewässermessstellen für die einzelnen BE mitunter gering ausfällt. Um dennoch möglichst umfassend statistisch gesicherte und repräsentative HGW ermitteln zu können, wurden sowohl BE- als auch TEZG-übergreifende Auswertungen angestrebt. Hierbei wurden vor allem schmale Ausbisslinien, die z. B. eine BE umschließen oder in eine andere BE eingeschaltet sind, mit der jeweils angrenzenden BE zusammengefasst. So erstrecken sich beispielsweise die Festgesteine des karbonatisch-klastischen Muschelkalks (BE 05M5.4) bis in das TEZG der Weser und weisen durchgängig Einschaltungen des salinaren Mittleren Muschelkalks (BE 05M5.5) auf. Aus diesem Grund wurden die BE 05M5.4 und 05M5.5 aus Diemel und Weser zusammen ausgewertet. In der gleichen Weise wurde mit den BE 05M5.2 und 05M5.3 (Keuper) in Diemel und Weser (nur die südlichen Keuper-Vorkommen) verfahren. Der schmale Ausbiss der BE 05M6.3 wurde mit der BE 05M6.1 zusammengefasst und auch die BE 08P11 und 08P13 sowie 08P12 und 08P6 wurden entsprechend zusammen ausgewertet. Wie bereits in Kapitel 21.2 angeführt, wurden die BE Lippe_08P5 und Diemel_08P5 ebenfalls im Rahmen der Auswertungen zusammengeschlossen. Für die Auswertungen der kreidezeitlichen BE (02M1 bzw. 02M5) wurden Datensätze aus den TEZG Diemel, Weser, Lippe und Ruhr aggregiert.

Tab. 28-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten im TEZG Diemel

Diemel_		Fläche [km ²]
05K1.2	quartäre Sande und Schluffe	16,9
02M1	Unterkreide, silikatisch	1,7
02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	1,5
02M5	Oberkreide, karbonatisch	3,3
05M4.5	Lias	4,6
05M5.1	Trias	5,7
05M5.2	Keuper, klastisch	70,6
05M5.3	Keuper, sulfatisch	69,9
05M5.4	Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	77,3
05M5.5	Mittlerer Muschelkalk, salinar	9,4
05M5.6	Buntsandstein	56,1
05M5.7	Buntsandstein, tonig-salinar	11,4
05M6.1	Zechstein, ungegliedert (chloridisch, karbonatisch, sulfatisch)	42,6
05M6.3	Zechstein, sulfatisch	5,0
08P5	karbonische Ton- bis Sandsteine	40,6
08P6	karbonische Schiefer, karbonatisch	4,7
08P10	paläozoische Karbonate	6,5
08P11	paläozoische Schiefer und Sandsteine	33,4
08P12	paläozoische Schiefer, karbonatisch	32,8
08P13	paläozoische Sandsteine und Quarzite	9,6
08V6	paläozoische basische Vulkanite	9,0
08V8	Metavulkanite	2,6

Die BE 05M4.5, 05M5.1, 05M5.6, 05M5.7 und 08V6 sind kleinräumig in mehreren TEZG vertreten. Eine alleinige statistische Auswertung innerhalb eines TEZG ist für keine der Flächen möglich. In diesen Sonderfällen wurden die BE wieder zu ihren ursprünglichen HGC zusammengeschlossen, d. h. die Auswertung erfolgte TEZG-übergreifend.

Anhand der Datenverteilungen im Wahrscheinlichkeitsnetz konnte die Validität der vorgenommenen Zusammenschlüsse bestätigt werden.

Für die BE 02M4, 08P10 und 08V8 konnten aufgrund zu weniger Datensätze keine Auswertungen durchgeführt werden. Im Quartär (BE 05K2.1) konnte ausschließlich Mangan erfolgreich ausgewertet werden.

28.3 Ergebnisse

In Tabelle 28-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 28-4 bis 28-8 in Karten dargestellt.

In Verbreitungsgebieten permischer und triassischer Gesteine und damit fast flächendeckend im TEZG Diemel zeigen sich unter Berücksichtigung der Beurteilungswerte für die Parameter Barium, Sulfat und Uran Auffälligkeiten bei den ermittelten HGW.

Sowohl im Zechstein und Buntsandstein als auch im Muschelkalk und Keuper sind Einlagerungen von Gips bekannt, der durch Auslaugungen den Gewässerchemismus prägt (KNAPP 1986). Im Grundwasser werden so Sulfat-HGW zwischen 189 mg/l (HGC 05M5.5) und 2 950 mg/l (HGC 05M5.3) erreicht (HGW Gw 2012) und bestätigen die im Oberflächenwasser ermittelten HGW für Sulfat von 74,4 bis maximal 347,4 mg/l. Besonders die Schichten des Gipskeupers, die in der Warburger Börde anstehen (BE 05M5.3), zeichnen sich durch Lösungserscheinungen, entfestigte Schichten und tonig-sulfatische Residualbildungen aus (KNAPP 1986). Hier wurden dementsprechend sowohl im Grundwasser als auch im Oberflächenwasser die höchsten Sulfat-HGW ermittelt.

Größere Barytvorkommen sind im TEZG der Diemel zwar nicht bekannt, Feldspäte und Glimmer führen jedoch ebenfalls Barium. Dabei können die Bariumgehalte je nach Zusammensetzung der Gesteine stark schwanken (MERKEL & SPERLING 1998). Während in Sandsteinen des Hauptlettenkohlsandsteins (Vorkommen im Bereich der BE 05M5.2 und 05M5.3) ein hoher Feldspatanteil vorliegt (KNAPP 1986), variieren die Feldspatgehalte der glimmerführenden Buntsandsteine (FARRENSCHON & SKUPIN 1991). Durch die Zerrüttung der Buntsandstein-Schichten im Bereich der Randstaffeln und die Verwitterung oberflächennaher Sandsteine sind aber auch erhöhte Abträge in die Gewässer möglich. In den vermoorten Bereichen des Keupers werden die höchsten Barium-HGW erreicht (HGC 05M5.3 HGW Grundwasser: 519 µg/l; BE 05M5.3 HGW Oberflächenwasser: 340,4 µg/l). Dabei wurde eine (vermutlich) geogene Anomalie vermoorter Auenbereiche im Wahrscheinlichkeitsnetz extrapoliert berücksichtigt (maximaler Wert der Barium-Anomalie 630 µg/l, unterhalb von Quellen in einem bewaldeten Gebiet). Als Resultat liegt das 90. Perzentil methodisch bedingt über dem angegebenen Maximum der Normalpopulation. Die ermittelten Barium-HGW der BE korrelieren mit den HGW im Grundwasser (z. B. HGC 05M5.5: 74 µg/l; HGC 05M5.4: 106 µg/l; HGC 05M5.6: 353 µg/l; HGW Gw 2012). Arbeiten von z. B. SCHNEIDER et al. (2003), WAGNER et al. (2003) und LOTZE (1999) weisen ebenfalls darauf hin, dass im Vergleich zu anderen Gesteinsfolgen im Keuper, Perm und Buntsandstein höhere Bariumgehalte angetroffen werden.

Tab. 28-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Diemel															
		05K1.2	02M1	02M5	05M4.5	05M5.1	05M5.2	05M5.3	05M5.4 05M5.5	05M5.6	05M5.7	05M6.1 05M6.3	08P5	08P11 08P13	08P12 08P6	08V6	
Ag	n > BG																
	50. P.																
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.																
As	n > BG			6	28	5	18	18	26	13	9		19			7	
	50. P.			0,1	0,6	0,5	0,6	0,6	0,2	0,8	0,5		0,3			0,2	
	90. P.	n.a.	n.a.	0,4	0,8	0,8	1,1	1,1	0,7	1,4	0,8	n.a.	0,6	n.a.	n.a.	0,5	
	Max. N.			0,8	0,9	0,8	1,6	1,6	2,0	1,6	0,7		0,7			0,5	
B	n > BG				17	7					9						
	50. P.				27,5	33,4					10,0						
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	45,5	72,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	40,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.				69,0	84,0					64,0						
Ba	n > BG		9	15	22	7	24	24	33	8	11	7	34	8	8	12	
	50. P.		44,8	27,3	50,9	60,8	150,7	150,7	60,0	54,0	65,7	163,2	18,3	5,8	7,2	13,1	
	90. P.	n.a.	73,7	58,8	76,1	108,1	340,4	340,4	92,3	80,2	100,1	224,4	36,1	17,9	14,3	24,9	
	Max. N.		74,0	64,0	91,0	110,0	280,0	280,0	110,0	85,0	110,0	220,0	36,0	22,0	14,0	27,0	
Be	n > BG									8							
	50. P.									0,03							
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,13	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.									0,18							
Cd	n > BG			8	27	7	14	14		12			21				
	50. P.			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,07			0,05				
	90. P.	n.a.	n.a.	0,05	0,03	0,01	0,05	0,05	n.a.	0,24	n.a.	n.a.	0,31	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.			0,10	0,05	0,01	0,08	0,08		0,31			0,65				
Co	n > BG			7	29	5	16	16	23	12			16		6	6	
	50. P.			0,1	0,2	0,4	0,3	0,3	0,1	0,2			0,2		0,0	0,0	
	90. P.	n.a.	n.a.	0,2	0,3	1,8	0,9	0,9	0,2	0,8	n.a.	n.a.	0,7	n.a.	0,2	0,2	
	Max. N.			0,3	0,4	1,5	1,3	1,3	0,4	1,4			1,4		0,5	0,3	
Cr	n > BG				8				11				8				
	50. P.				0,1				0,4				0,4				
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	0,7	n.a.	n.a.	n.a.	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.				1,6				0,7			0,7					
Cu	n > BG		22	27	26	9	18	18	86	40	56	9	120		7	13	
	50. P.		1,4	0,9	1,1	1,2	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0	1,6	1,0		0,9	0,5	
	90. P.	n.a.	2,6	2,4	1,8	4,0	1,6	1,6	2,2	1,8	3,6	8,4	2,2	n.a.	1,9	1,9	
	Max. N.		4,2	3,0	2,2	5,7	1,4	1,4	5,0	3,3	11,1	10,0	4,5		1,8	3,3	
Fe	n > BG		6	8	30		14	14	21	11	8		14	6	10	12	
	50. P.		0,0	0,0	0,5		0,2	0,2	0,1	0,2	0,2		0,4	0,0	0,1	0,1	
	90. P.	n.a.	0,3	0,1	1,2	n.a.	1,5	1,5	0,3	0,4	0,4	n.a.	1,1	0,1	0,2	0,4	
	Max. N.		0,3	0,3	1,1		2,7	2,7	0,7	0,4	0,4		1,8	0,1	0,2	0,5	
Hg	n > BG																
	50. P.																
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
	Max. N.																

Fortsetzung von Tabelle 28-2

Parameter	Kennwert	Diemel														
		05K1.2	02M1	02M5	05M4.5	05M5.1	05M5.2	05M5.3	05M5.4 05M5.5	05M5.6	05M5.7	05M6.1 05M6.3	08P5	08P11 08P13	08P12 08P6	08V6
Mn	n > BG	13			17		7	7	21	10	9		15	12	7	11
	50. P.	25,0			28,1		37,5	37,5	1,7	36,7	0,3		19,5	5,4	4,7	4,9
	90. P.	60,2	n.a.	n.a.	109,5	n.a.	74,5	74,5	14,0	79,3	24,5	n.a.	125,1	27,6	35,5	72,7
	Max. N.	50,0			180,0		99,0	99,0	35,0	110,0	572,0		120,0	50,0	68,0	259,0
Mo	n > BG				20		9	9	22				15	6	9	
	50. P.				0,5		0,4	0,4	0,3				0,1	0,0	0,0	
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7	n.a.	0,7	0,7	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	0,3	0,1	0,2	n.a.
	Max. N.				2,1		0,7	0,7	1,9				0,3	0,2	0,4	
Ni	n > BG				21				12	10			14			6
	50. P.				0,9				0,2	1,4			1,6			0,6
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	1,7	n.a.	n.a.	n.a.	2,3	3,7	n.a.	n.a.	3,6	n.a.	n.a.	2,3
	Max. N.				2,0				15,0	5,4			5,2			3,8
Pb	n > BG			7	31	6	14	14	28	10			17	6	9	7
	50. P.			0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,8			1,0	0,2	0,1	0,1
	90. P.	n.a.	n.a.	1,5	0,8	0,5	1,0	1,0	0,4	1,8	n.a.	n.a.	5,0	3,2	2,5	0,9
	Max. N.			2,6	1,3	0,5	1,4	1,4	0,4	0,9			10,0	3,4	4,4	1,4
Se	n > BG						5	5					8			
	50. P.						0,5	0,5					0,3			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,0	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.						0,7	0,7					1,3			
SO ₄	n > BG		9	20	28	7	8	8	33	12	11	9	27	11	12	11
	50. P.		19,4	23,5	53,9	148,7	38,6	115,1	75,7	30,3	53,4	41,6	23,1	21,7	22,1	26,0
	90. P.	n.a.	24,2	35,7	74,4	312,3	49,6	347,4	145,4	45,4	141,2	52,0	30,4	24,9	27,4	41,9
	Max. N.		24,0	36,0	75,0	345,0	51,0	480,0	156,0	52,0	159,7	53,0	35,0	27,0	29,0	45,0
Ti	n > BG															
	50. P.															
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.															
Tl	n > BG				5	5				7			14			
	50. P.				0,00	0,01				0,01			0,01			
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	0,01	0,01	n.a.	n.a.	n.a.	0,02	n.a.	n.a.	0,04	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.				0,03	0,02				0,03			0,07			
U	n > BG			19	30	10	26	26	49	18	44	6	14		7	8
	50. P.			0,15	0,43	0,35	0,20	0,20	0,22	0,07	0,45	0,39	0,03		0,08	0,04
	90. P.	n.a.	n.a.	0,29	0,74	0,96	1,72	1,72	0,62	1,05	1,39	0,76	0,27	n.a.	0,34	0,19
	Max. N.			0,42	1,10	1,20	1,50	1,50	1,60	1,30	3,60	0,92	0,88		0,37	0,35
V	n > BG			6	25		15	15	13	8	9					
	50. P.			0,5	0,8		1,0	1,0	0,3	0,4	0,9					
	90. P.	n.a.	n.a.	0,8	1,8	n.a.	2,4	2,4	1,2	1,1	1,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			1,0	2,7		3,5	3,5	2,9	1,8	1,3					
Zn	n > BG		22	19	139	23	121	121	62	43	34	11	26	20	8	12
	50. P.		52,9	3,1	5,5	9,1	4,0	4,0	3,2	12,2	3,7	10,5	4,9	3,7	5,4	3,5
	90. P.	n.a.	87,9	8,0	15,4	18,7	11,6	11,6	10,4	26,5	10,1	22,3	14,0	10,5	12,2	16,0
	Max. N.		120,0	11,0	48,0	25,0	35,0	35,0	30,0	40,0	11,0	22,0	12,0	21,0	20,0	28,0

Uran erreicht ebenfalls im Keuper (BE 05M5.2 und 05M5.3) die höchsten HGW im TEZG. Dabei wurde wie auch bei Barium im Wahrscheinlichkeitsnetz eine obere Anomalie in vermoorten Talbereichen (Eggel, Eder, Riepener Bach; KNAPP 1986) registriert und diese extrapoliert in der Auswertung berücksichtigt (maximaler Wert der Uran-Anomalie bei 2,3 µg/l). Entsprechend MERKEL & SPERLING (1998) lassen sich insbesondere bei Anwesenheit von Huminstoffen Anreicherungen von Uran in Sedimenten und Böden beobachten. Je nach Mobilität der Huminstoffe und den pH-Werten kann es sowohl mobilisiert als auch immobilisiert werden. Mit mehr als 7 µg/l liegen die HGW im Grundwasser für Uran deutlich über dem ermittelten HGW im Oberflächenwasser. KNOLLE (2009) weist zudem darauf hin, dass erhöhte Urankonzentrationen in deutschen Mineralwässern überwiegend an hydrogeologische Einheiten der Trias gebunden auftreten, darunter Gesteine des Buntsandsteins und des Keupers.

Der maximale Kupfer-HGW (8,4 µg/l) wurde im Oberflächenwasser in Korrelation mit den HGW im Grundwasser im Bereich des Zechsteins (05M6.1) bestimmt. Auch für Zink liegt der ermittelte HGW von 22,3 µg/l über dem aktuell gültigen Beurteilungswert. Wie in Kapitel 28.1 erläutert, zeichnet sich der Marsberger Raum nicht nur durch störungsgebundene Vererzungen (vor allem Kupfererze) aus, es sind auch Einlagerungen kupfermineralisierter Mergelsteine (Kupfermergel) oder bereichsweise Kupferlettenflöze im Zechstein bekannt (FARRENSCHON & OESTERREICH 2008). Ebenso konnten Blei- und Zinkerze im Zechstein nachgewiesen werden (Kap. 28.1; FARRENSCHON & OESTERREICH 2008). Die HGW können somit in direkten Bezug zu den Erznachweisen im Zechstein gesetzt werden.

Im Buntsandstein (05M5.6) wurde für Blei ein HGW von 1,8 µg/l und für Zink ein HGW von 26,5 µg/l ermittelt. Die erhöhten HGW fallen räumlich mit den bekannten Blei-Zink-Vererzungen oberhalb des Wäschebaches bei Blankenrode zusammen (Kap. 28.1) und lassen sich anhand derer erklären. Im Fall von Blei ließ sich im Wahrscheinlichkeitsnetz eine obere Anomalie beobachten, die voraussichtlich aus Einträgen der bergbaulich überprägten Böden resultiert. Da es sich um eine anthropogene Überprägung natürlicher Vorkommen handelt, wurde die Anomalie fiktiv berücksichtigt. Methodisch bedingt liegt daher das 90. Perzentil über dem Maximalwert der Normalpopulation (Tab. 28-2; die Anomalie erreicht wiederum Konzentrationen bis 5,5 µg/l).

Mit 87,9 µg/l wurde der höchste Zink-HGW im TEZG der Diemel innerhalb der BE 02M1 ermittelt. Die Ergebnisse der TEZG-übergreifenden Auswertung (Diemel, Weser, Lippe) werden in Kapitel 21.3 erörtert. Im TEZG der Diemel selber nimmt die BE mit 1,7 km² nur einen kleinen, vernachlässigbaren Raum ein. Die höchsten Blei-HGW wurden im TEZG in den karbonischen Ton- bis Sandsteinen ermittelt (BE 08P5; $HGW_{\text{Blei}} = 5 \mu\text{g/l}$). Wie bereits in Kapitel 21.3 im TEZG der Lippe beschrieben, können die HGW innerhalb der BE 08P5 auf Einträge aus dem Briloner Massenkalk-Komplex zurückgeführt werden.

In den paläozoischen Schiefen, Sandsteinen und Quarziten (BE 08P11 und 08P13) wurden ebenfalls verhältnismäßig hohe Blei-HGW bestimmt (3,2 µg/l). Der höchste Blei-Messwert (3,4 µg/l; Tab 28-2) wurde im Waldgebiet unmittelbar unterhalb einer Quelle erfasst. Anthropogene Beeinträchtigungen sind hier nicht bekannt. Gemäß PAECKELMANN (1936) bestand im Umfeld eine Verleihung zur Aufsuchung und zum Abbau von Blei (Bergwerksfeld); Hinweise auf Bergbautätigkeiten liegen wiederum nicht vor. Es kann vermutet werden, dass etwaige Bleivorkommen sich als nicht wirtschaftlich erwiesen haben.

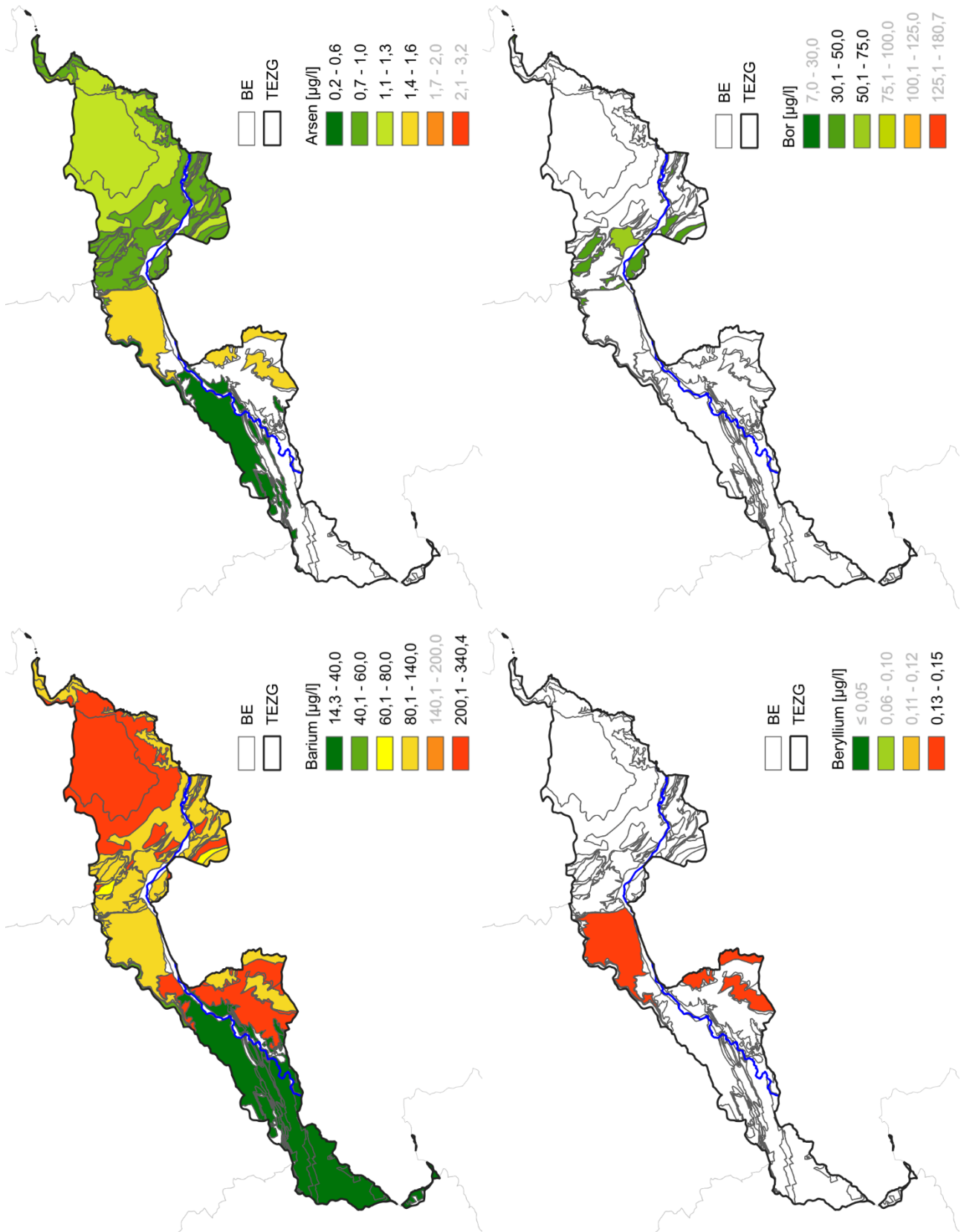


Abb. 28-4: HGW_{ges} für Arsen, Bor, Barium und Beryllium in den BE des TEZG Diemel

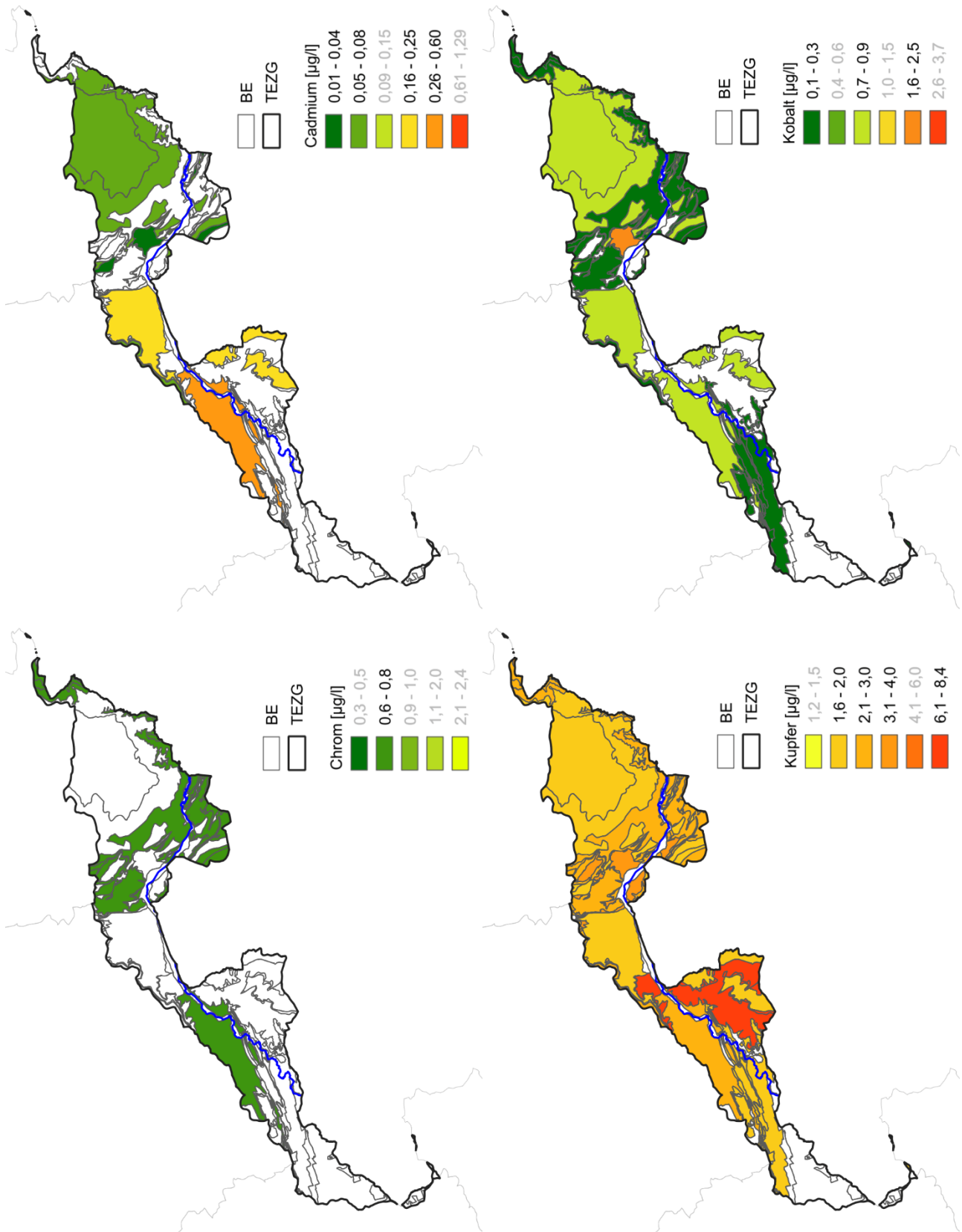


Abb. 28-5: HGW_{ges} für Cadmium, Kobalt, Chrom und Kupfer in den BE des TEZG Diemel

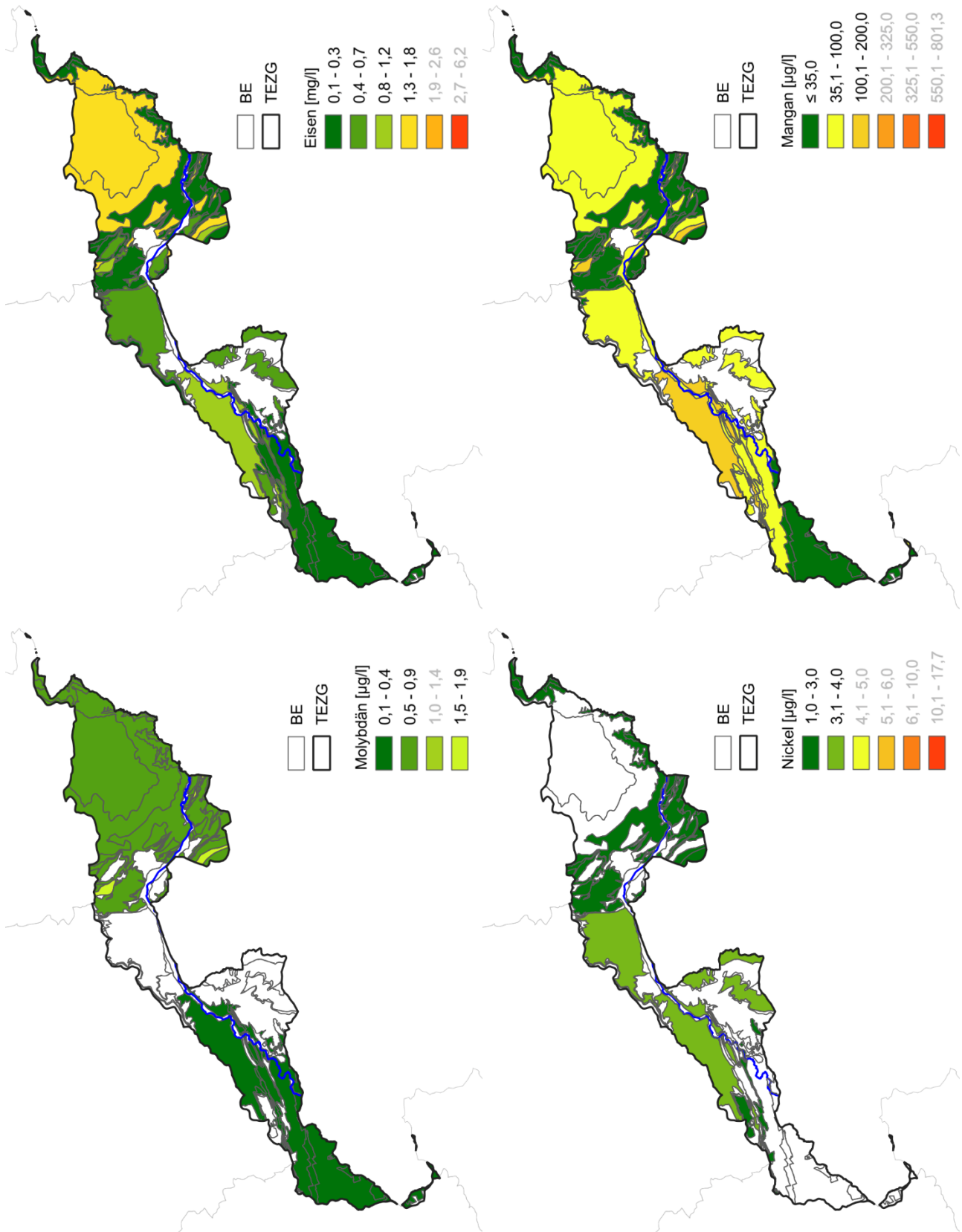


Abb. 28-6: HGW_{ges} für Eisen, Mangan, Molybdän und Nickel in den BE des TEZG Diemel

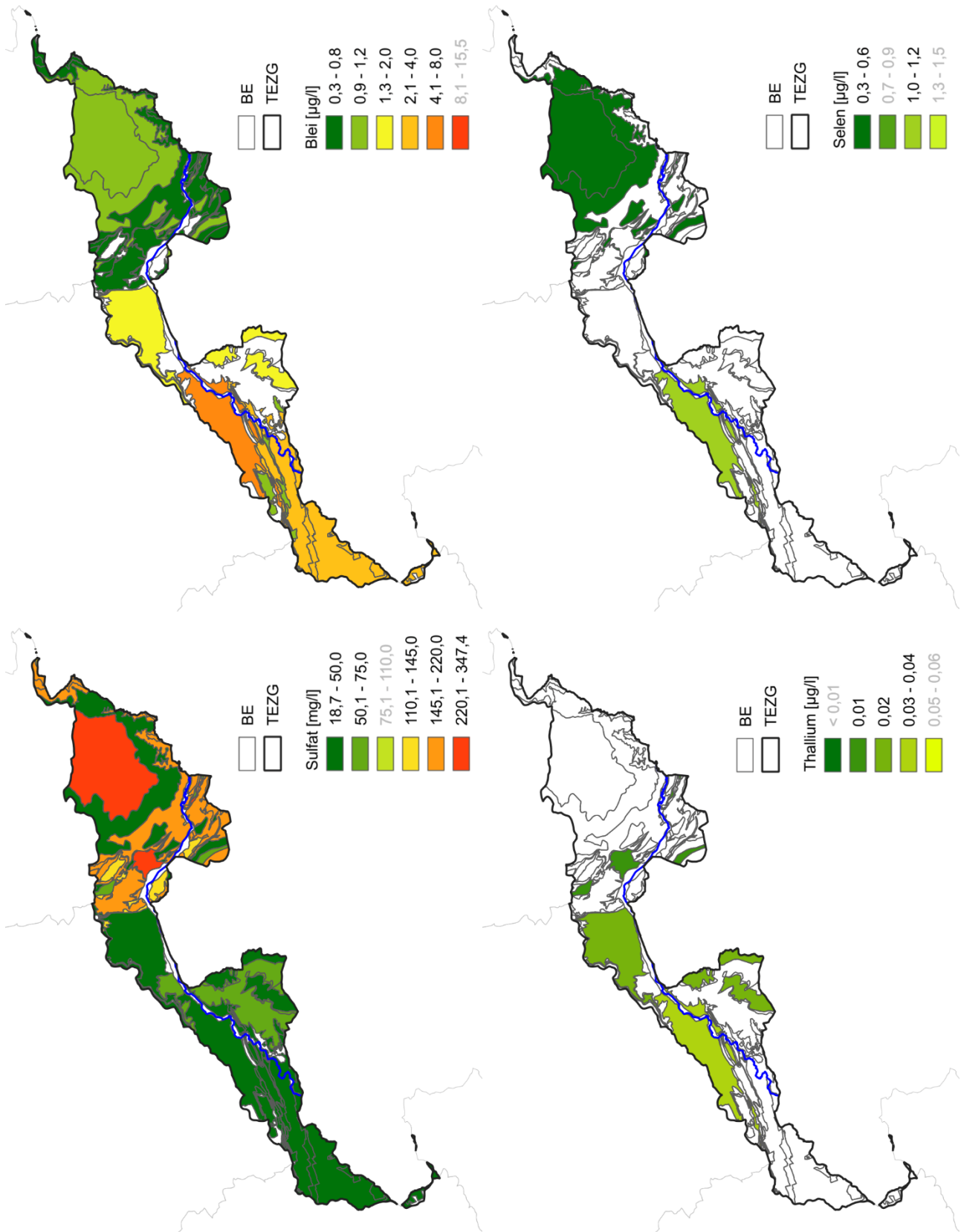


Abb. 28-7: HGW_{ges} für Blei, Selen, Sulfat und Thallium in den BE des TEZG Diemel

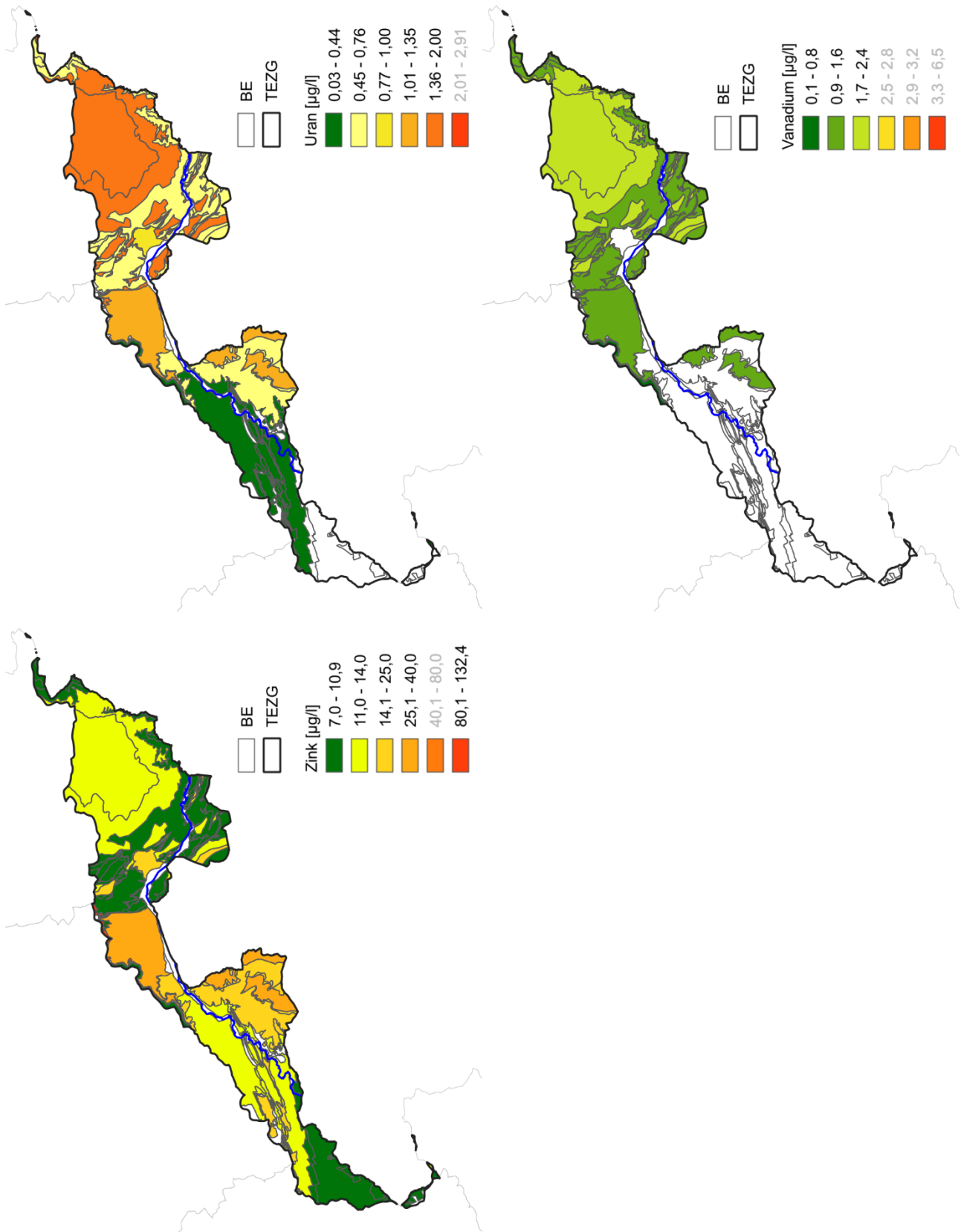


Abb. 28-8: HGW_{ges} für Uran, Vanadium und Zink in den BE des TEZG Diemel

29 Weser und Hunte

29.1 Gebietsbeschreibung

In der Abbildung 29-1 wird die physische Karte der TEZG Weser und Hunte wiedergegeben. Abbildung 29-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb des hier beschriebenen Betrachtungsraumes.

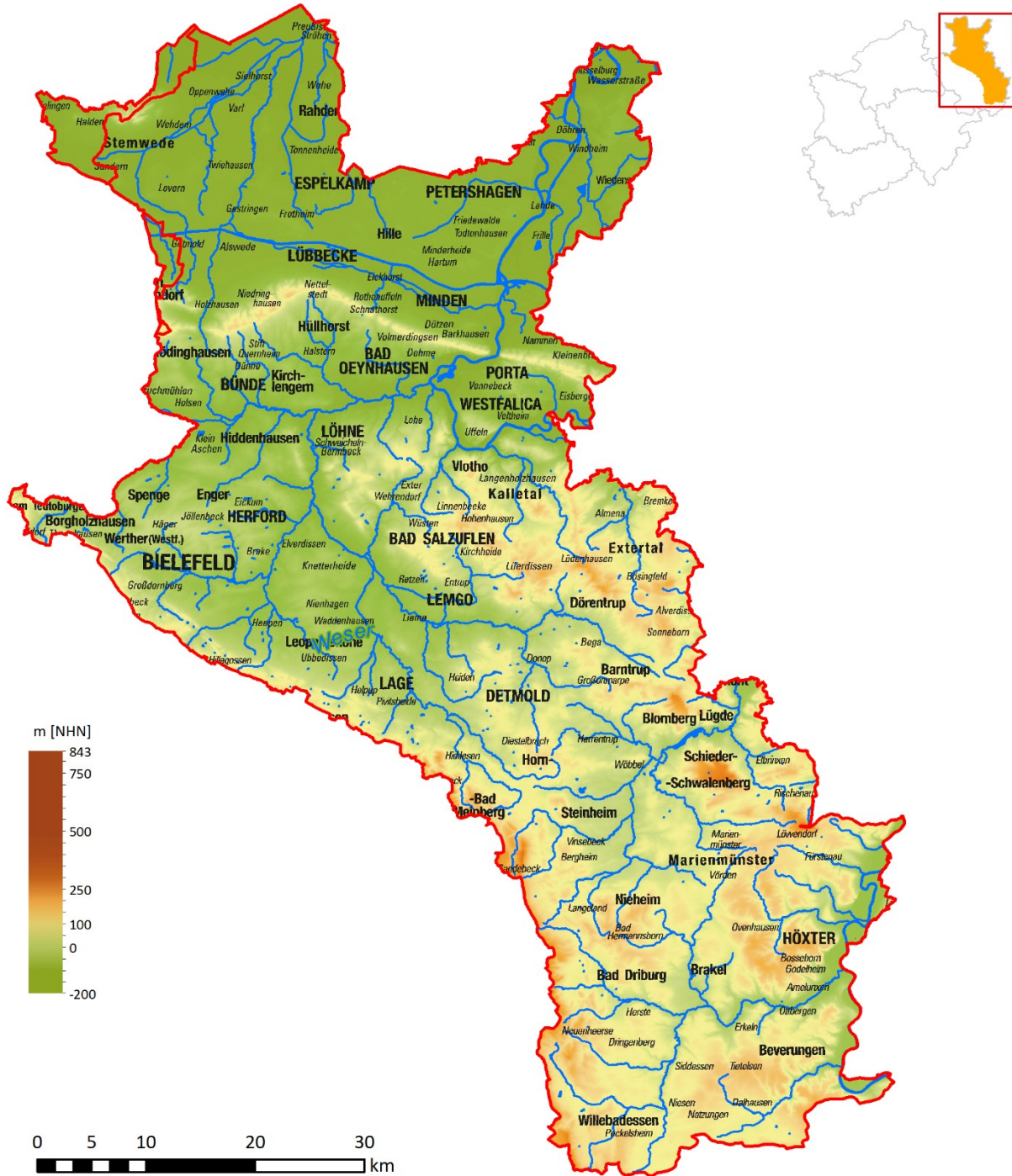


Abb. 29-1: TEZG Weser und Hunte

Das Einzugsgebiet der Weser fällt in etwa zu 8 % und das Einzugsgebiet der Hunte zu etwa 2 % in den Ostteil von NRW. Zusammen nehmen sie dort eine Fläche von etwa 3 809 km² ein. Das TEZG der Weser liegt im Weserbergland und geht nach Norden in das Westfälische Tiefland über. Die Kammlinie des östlichen Weser- und Wiehengebirges führt dabei zu einer deutlichen Abtrennung des Weserberglandes vom Westfälischen Tiefland. Nach Westen begrenzen die Mittelgebirge des Teutoburger Waldes und des Eggegebirges das TEZG und trennen es von den TEZG der Lippe und der Oberen Ems. Insgesamt erfolgt innerhalb des TEZG ein Wechsel vom Bergland (bis 350 bzw. 460 m ü. NHN) im Süden zum Hügelland im Zentrum des TEZG, ehe es im Norden in das Tiefland (40 bis 50 m ü. NHN) übergeht. Der nordrhein-westfälische Teil des TEZG Hunte wird fast vollständig dem Westfälischen Tiefland zugeordnet.

Die Bergkämme und abweichenden Höhenlagen beeinflussen die Niederschlags- und Gewässerverteilung in den TEZG. Während entlang des Teutoburger Waldes und des Eggegebirges im Schnitt hohe Niederschlagsmengen (bis zu 1 375 mm bei Feldrom; Klimaatlas NRW) auftreten, nehmen sie nach Osten und Norden hin ab. Damit einhergehend verringert sich auch die Dichte des Gewässernetzes (MUNLV 2005 f).

Die Weser verläuft nur in verhältnismäßig kurzen Abschnitten durch NRW (von Beverungen bis nördlich von Höxter sowie von Porta Westfalica bis nördlich von Petershagen) und ist dort als Bundeswasserstraße für die Schifffahrt strukturell verändert (MUNLV 2005 f). Auf nordrhein-westfälischer Seite wird das Gewässernetz somit maßgebend durch ihre Nebengewässer (z. B. Nethe, Bega, Werre, Große Aue) geprägt. Ähnliches gilt auch für das TEZG der Hunte, die selbst nicht durch NRW fließt und nur durch ihre Nebengewässer repräsentiert wird. Die Gewässer strömen in Richtung Landesgrenze nach Niedersachsen. Nahezu alle diese Gewässer sind durch den Menschen erheblich verändert worden. Zu den Nebengewässern zählen unter anderem die Brockumer Pissing sowie der Schröttinghauser Bach (MULNV 2021 d).

Flächenanteilig überwiegen im TEZG der Weser landwirtschaftliche Nutzflächen (59 %). Waldflächen sind bevorzugt in den Höhenlagen anzutreffen (21 %; ATKIS). Im Gegensatz zum Süden des TEZG ist der Norden dichter besiedelt (u. a. Herford, Bielefeld, Bad Oeynhausen) und vorwiegend städtisch geprägt (ATKIS). Auch das TEZG der Hunte ist von der Landwirtschaft geprägt, wobei knapp 67 % seiner Fläche von Ackerland eingenommen werden. Des Weiteren werden circa 12 % als Wald und Forst, knapp 12 % als Grünlandfläche sowie knapp 9 % als Siedlungs- und Gewerbefläche ausgewiesen (MULNV 2021 d).

Geologie/Hydrogeologie

Als markantestes tektonisches Element des Betrachtungsraumes sind die Osning-Überschiebung (markiert den Teutoburger Wald mit steil aufgerichteten Schichtgliedern der Trias bis Kreide) inklusive der Schollentreppe des Eggegebirges sowie die Wiehengebirgsflexur (S-förmige Schichtverbiegungen mit oberflächennah anstehenden Festgesteinen des Juras) zu nennen (GD NRW 2003; Abb. 29-2). Die Strukturen rahmen den südlichen und mittleren Teil des TEZG Weser ein und trennen ihn vom nördlichen Tiefland.

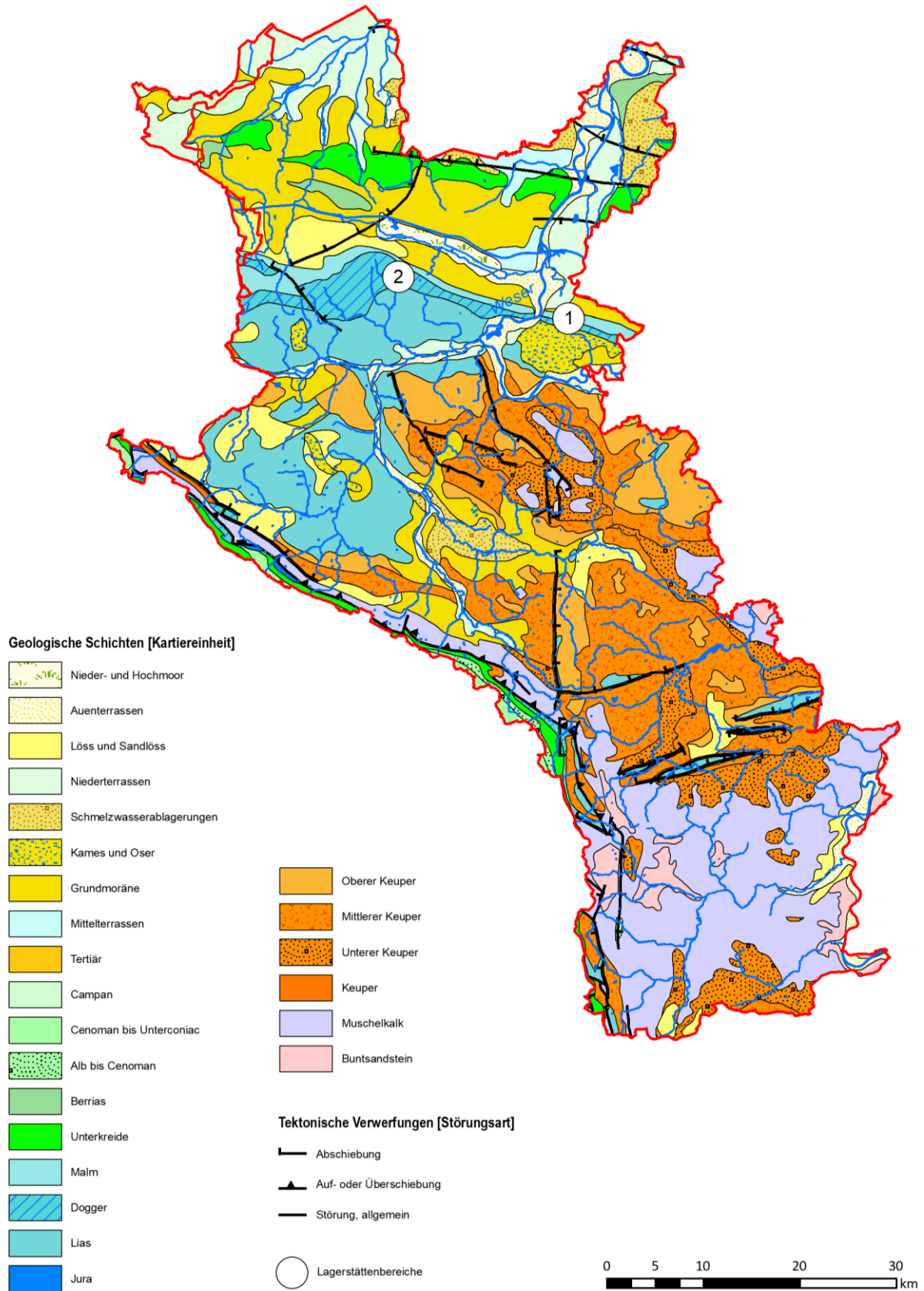


Abb. 29-2: Geologie und Lagerstätten in den TEZG Weser und Hunte

Zum Großteil ist der Betrachtungsraum durch triassische und jurassische Festgesteine geprägt. Von Süden nach Norden gehend folgen auf dolomitische Ton-/Schluff- und Mergelsteine (mit lokalen Gipsvorkommen) des Keupers feinplattige bis wellige Kalk-/Kalkmergelsteine des Muschelkalks, in die dolomitisierte oder auch Gips/Anhydrit führende Schichten eingeschaltet sind. Weiter nach Norden wird der Muschelkalk erneut durch Ton- und Schluffsteine (mit untergeordnet dolomitischen Mergelsteinen) des Keupers überlagert, welche schließlich durch Ton- und Mergelsteine des Lias überdeckt werden (IS GK 100).

Mit Übergang vom Bergland in das (Ravensberger) Hügelland nimmt auch die Ausdehnung der quartären Bedeckung zu. Hier sind die Gesteine des Lias weitläufig durch eiszeitliche Lockergesteine (z. B. Grundmoräne, Löss) wechselnder Mächtigkeit verhüllt (IS GK 100).

Das Weser- und Wiehengebirge wird aus Ton-, Kalk- und Mergelsteinen der Jura-Zeit (Malm und Dogger) aufgebaut. Im Tieflandbereich nördlich des Weser- und Wiehengebirges sind kreidezeitliche (mitunter bituminöse) Tonsteine weitestgehend durch quartärzeitliche Lockergesteine überlagert (IS GK 100). In die Schmelzwasser- und Moränenablagerungen haben sich Terrassensedimente eingeschnitten. Die Niederungen sind meist vermoort (GD NRW 2003).

Obwohl das überwiegend flachwellige Relief einen einfachen Gebirgsbau suggeriert, ist der Festgesteinsuntergrund durch Gebirgsbildungen und Dehnungsphasen in ein komplexes Bruchfaltensystem mit tief reichenden Störungen und zahlreichen (kleinen) Bruchschollensystemen zergliedert (GD NRW 2003). Zahlreiche Mineral- und Heilwasserquellen zeugen von umfangreichen Tiefenwasseraufstiegen entlang der Bruchsysteme. Darüber hinaus ist der Untergrund im Bereich ausgelaugter Salinargesteine durch Subrosionssenken geprägt (z. B. im Zechstein, Oberen Buntsandstein, Oberjura/Unterkreide). An der Oberfläche sind diese jedoch nur selten unmittelbar erkennbar, da die Senkungsstrukturen vornehmlich durch Sedimente des Quartärs verfüllt wurden (GD NRW 2003).

Wie bereits in Kapitel 28.1 angesprochen, kann die Durchlässigkeit der Festgesteinsgrundwasserleiter je nach Beanspruchung (tektonisch, chemisch) stark variieren. So erreichen die Kluft- bis Karstgrundwasserleiter sehr geringe bis hin zu mittleren Durchlässigkeiten. Im Übergang zum Lias werden die Flussverläufe zunehmend von quartärzeitlichen Porengrundwasserleitern mit höheren Durchlässigkeiten eingerahmt. Auch im Westfälischen Tiefland nördlich des östlichen Wiehengebirges bilden Schmelzwassersande und Niederterrassen großflächige Porengrundwasserleiter aus (IS HK 100).

Lagerstätten und Mineralisation

In den TEZG Weser und Hunte sind nur vereinzelt Erzlagerstätten bekannt. Dabei handelt es sich überwiegend um marin-sedimentäre Eisenerze (z. B. Toneisensteingeoden) sowie Schwefelkieslagen/-knollen, die sowohl in die Festgesteine der Jura-Zeit (Lias und Dogger) als auch der Unterkreide eingebettet sind (IS GK 100; GD NRW 2003). Im Bereich des Wesergebirges (**„Nordwestlicher Jurabezirk“** bei Nammen; Abb. 29-2: Markierung 1; ARGE Erzbergbau 2012) erreichten die Eisenerzvorkommen wirtschaftliche Bedeutung (GD NRW 2003). Hier wurden als begleitende Elemente auch Blei- und

Zinkerze aufgefunden (ARGE Erzbergbau 2012). In diesem Erzbezirk wird das einzige noch aktive Erzbergwerk NRW betrieben. Weitere Nachweise für Blei- und Zinkerze finden sich laut STRAßMANN (1999) in den jurassischen Kalk- und Mergelsteinen im Bereich des **Wiehengebirges bei Lübbecke** (Abb. 29-2: Markierung 2). Auch im Bereich des Teutoburger Waldes und des Eggegebirges liegen vereinzelt Nachweise von Blei- und Zinkerzen (STRAßMANN 1999) sowie Eisenerzen (IS Erz) vor.

Das Weserbergland ist bekannt für seine Gips-, Anhydrit- und Steinsalzvorkommen, die vornehmlich in die **mesozoischen Festgesteine** sowie den Zechstein eingeschaltet sind (GD NRW 2003). Zahlreiche Erdfälle und Dolinen zeugen von oberflächennahen Auslaugungen löslicher Sulfatgesteine (z. B. im Muschelkalk oder Keuper; IS GDU). Subrosionssenken weisen auch auf tiefer liegende Lösungsprozesse hin (IS GDU). Neben erhöhten geogenen Sulfatgehalten weisen SCHNEIDER et al. (2003) auf die Möglichkeit erhöhter Arsen- und Vanadiumgehalte in Keuper-Formationen hin. Barium erreicht ebenfalls höhere geogene Konzentrationen in Gesteinen des Keupers sowie des Buntsandsteins (SCHNEIDER et al. 2003).

Mineral- und Heilwasserquellen sind im TEZG der Weser zahlreich vorhanden (GD NRW 2003). Dort, wo die hochmineralisierten Tiefenwässer zutage treten und in Oberflächengewässer gelangen, ist auch mit erhöhten natürlichen Konzentrationen in den OFWK zu rechnen. Durch gelöstes Kohlenstoffdioxid wird die Anreicherung mit Mineralen zusätzlich begünstigt (GD NRW 2003).

29.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 29-3 und Tabelle 29-1 wird ein Überblick über die in den TEZG Weser und Hunte abgegrenzten BE gegeben.

Wie schon im TEZG der Diemel wurden auch in den TEZG Weser und Hunte sinnvolle Zusammenschlüsse von BE vorgenommen, um möglichst umfassende und zugleich repräsentative Auswertungen durchführen zu können. Die BE 05M4.5, 05M5.1, 05M5.6 und 05M5.7 wurden, wie in Kapitel 28.2 dargestellt, mit ihren Äquivalenten in anderen TEZG zusammengeführt. Im Fall der BE 05M4.4 und 05M4.2 wurde ebenso verfahren. Somit wurden hier die ursprünglichen HGC ausgewertet.

Die Lockergesteine des Quartärs (BE 02K1.3, 05K1.2 und 05K1.3) sind eng miteinander verwoben und können grundsätzlich zusammen ausgewertet werden. Durch die räumliche Trennung und Unterschiede bei den umliegenden Gesteinen ist jedoch eine Differenzierung in einen Nord- und einen Südteil vorzunehmen. Im Südteil konnten mangels geeigneter und ausreichender Eingangsdaten in diesem Fall keine HGW ermittelt werden. Auch die Gesteine des Keupers wurden weitestgehend zusammen ausgewertet (BE 05M5.2 und 05M5.3), jedoch entsprechend ihrer räumlichen Verteilung in einen Süd- und einen Nordteil untergliedert. Weitere Zusammenschlüsse erfolgten für die BE 05M5.4 und 05M5.5 (Muschelkalk; vgl. Kap. 28.2) sowie die BE 01R13d und 01R15c.

Die steil stehenden bis überkippten Schichten des Teutoburger Waldes weisen nur schmale Ausbissflächen auf, sodass keine eigenständige Auswertung der einzelnen geologischen Formationen möglich war. Da die Gewässer der Geländeneigung folgend senkrecht zu den Schichtausbissen verlaufen, wurden die

Schichten zu einer Mischeinheit (BE Mischbereich) zusammengefasst, die TEZG-übergreifend (Weser, Obere Ems, Hase) ausgewertet wurde.

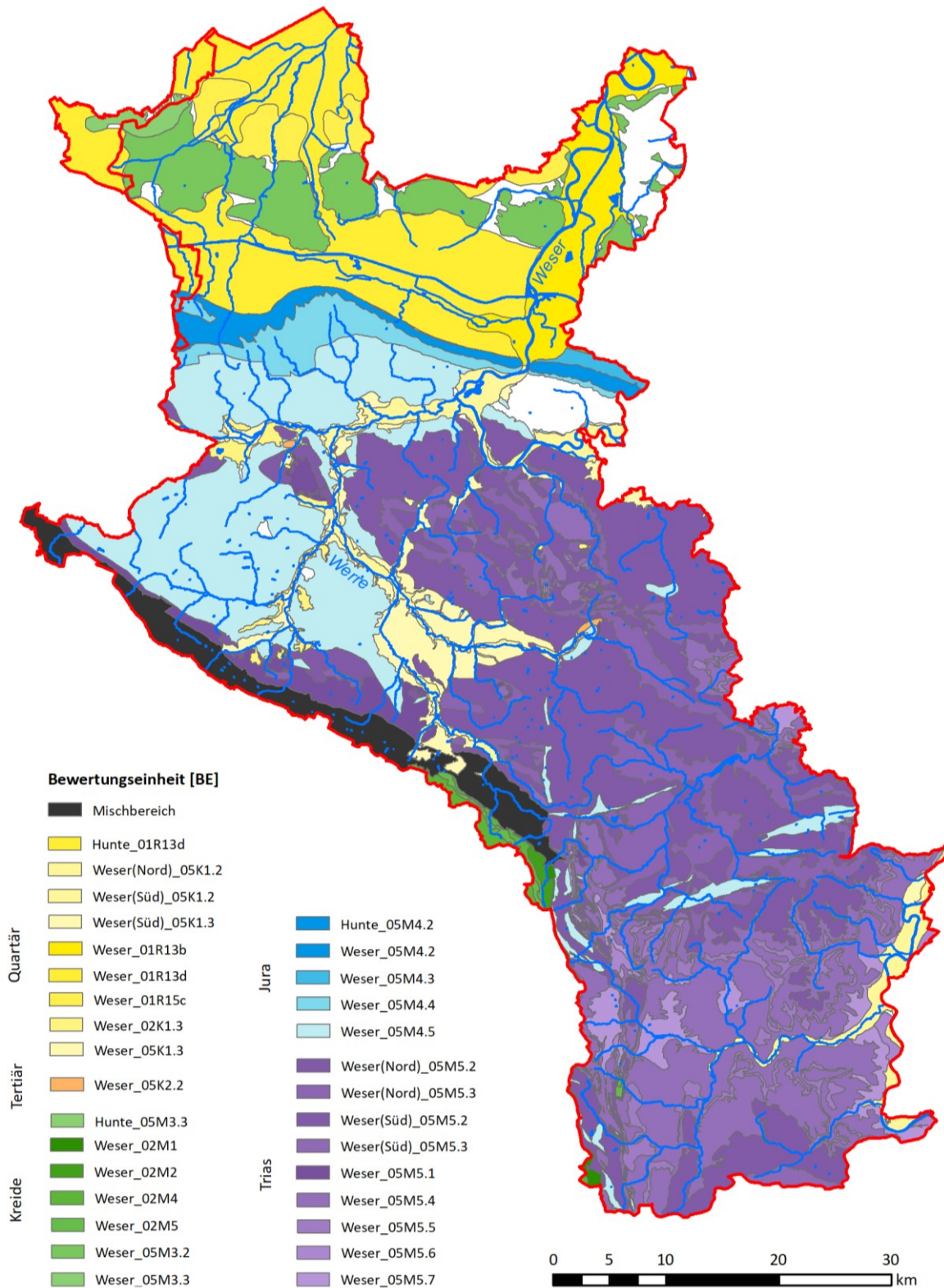


Abb. 29-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Weser und Hunte

Tab. 29-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten in den TEZG Weser und Hunte

Weser_		Fläche [km²]
01R13b	Mitteldeutsche Urstrom- und Nebentäler	134,1
01R13d	Nordwestdeutsche Moorniederungen	358,7
01R15c	Nordwestdeutsche Geest	66,3
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	22,2
(Nord)_05K1.2	quartäre Sande und Schluffe	89,4
(Süd)_05K1.2	quartäre Sande und Schluffe	39,5
05K1.3	quartäre Kiese und Sande, silikatisch	129,5
(Süd)_05K1.3	quartäre Kiese und Sande, silikatisch	3,5
05K2.2	tertiäre Sande und Tone	2,2
02M1	Unterkreide, silikatisch	6,3
02M2	Unterkreide, silikatisch/karbonatisch	5,1
02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	13,9
02M5	Oberkreide, karbonatisch	5,7
05M3.2	Kreide, vorwiegend silikatisch	186,1
05M3.3	Kreide, vorwiegend karbonatisch	8,4
05M4.2	Malm, vorwiegend silikatisch/karbonatisch	54,4
05M4.3	Malm, vorwiegend sulfatisch	9,3
05M4.4	Dogger	73,1
05M4.5	Lias	493,7
05M5.1	Trias	62,6
(Nord)_05M5.2	Keuper, klastisch	764,1
(Süd)_05M5.2	Keuper, klastisch	87,6
(Nord)_05M5.3	Keuper, sulfatisch	256,3
(Süd)_05M5.3	Keuper, sulfatisch	8,5
05M5.4	Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	455,4
05M5.5	Mittlerer Muschelkalk, salinar	84,5
05M5.6	Buntsandstein	10,2
05M5.7	Buntsandstein, tonig-salinar	77,6
Hunte_		
01R13d	Nordwestdeutsche Moorniederungen	52,0
05M3.3	Kreide, vorwiegend karbonatisch	7,4
05M4.2	Malm, vorwiegend silikatisch/karbonatisch	1,9

Die Zusammenführung von BE erfolgte nach geochemischen Gesichtspunkten und ihre Validität konnte anhand der Auswertung im Wahrscheinlichkeitsnetz zusätzlich bestätigt werden.

In den TEZG Weser und Hunte liegen eine hohe Anzahl an BE vor, die infolge der tektonischen Verhältnisse mitunter nur geringe Flächen einnehmen (< 10 km²; Tab. 29-1). Nicht in jedem Fall konnte ein sinnvoller Zusammenschluss von BE erfolgen, sodass in den betroffenen BE keine ausreichende Datendichte erreicht wurde. Die BE 02M2, 05K2.2, 05M3.3 und 05M4.3 konnten aus diesem Grund nicht ausgewertet werden.

29.3 Ergebnisse

In Tabelle 29-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 29-4 bis 29-9 in Karten dargestellt.

Eisenerze sind im Betrachtungsraum weitläufig bekannt und vor allem in den Gesteinen des Lias (BE 05M4.5) und des Doggers (BE 05M4.4) sowie im Malm (BE 05M4.2) verbreitet. Dies spiegelt sich auch in den ermittelten HGW wider. So wurde z. B. für Eisen in der BE 05M4.4 eine HGW von 1,8 mg/l ermittelt (Tab. 25-2). Durch die häufige Vergesellschaftung von Eisen und Mangan zeigen sich ebenso erhöhte Mangan-HGW im Dogger auf ($HGW_{\text{Mangan}} = 255,4 \mu\text{g/l}$).

Besonders in den BE 05M4.2 (Malm) und 05M4.4 (Dogger) heben sich die Kupfer-HGW von den restlichen Ergebnissen in den Oberflächengewässern ab (Tab. 29-2). Sowohl HORNBURG (2003) als auch MEDERER et al. (1998) geben an, dass unter anderem auch in Mergelsteinen erhöhte Kupfergehalte vorliegen können. Zudem lassen sich gegenüber den umliegenden Bodenbildungen erhöhte Kupfergehalte in den Böden des Weser- und Wiehengebirges beobachten (FELDWISCH & LENDVACZKY 2015). Somit scheinen auch erhöhte Kupferkonzentrationen im Grundwasser und Oberflächenwasser geogen möglich zu sein. Mangels geeigneter Grundwassermessstellen können die ermittelten Kupfer-HGW nicht mithilfe vor Ort gemessener Grundwasserkonzentrationen verifiziert werden. Zugleich liegen die Kupfer-HGW im Grundwasser mit $6,71 \mu\text{g/l}$ (HGC 05M4.2) und $4,43 \mu\text{g/l}$ (HGC 05M4.4; HGW Gw 2012) unter den ermittelten HGW im Oberflächenwasser. Die maximalen Konzentrationen in den Auswertungen der Oberflächengewässer für Malm und Dogger wurden durch Quellanalysen bedingt. Da es sich hierbei aber um ältere Einzelmessungen (ab 1988) handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Ergebnisse z. B. durch größere Messungenauigkeiten, Probenbehandlung oder Ausreißerwerte verzerrt sein können. Andererseits kommt es in diesem Raum aufgrund der Vielzahl von Störungssystemen und des Vorhandenseins eines entsprechenden Auftriebs zum Aufstieg von hochkonzentrierten Tiefenwässern.

Auch Blei und Zink weisen im Dogger gegenüber ihren Beurteilungswerten erhöhte Werte auf ($HGW_{\text{Blei}} = 2,5 \mu\text{g/l}$; $HGW_{\text{Zink}} = 35,7 \mu\text{g/l}$). Neben potenziellen Tiefenwasseraufstiegen können lokale Vorkommen von Blei- und Zinkerzen (z. B. als Kluffüllungen) im Bereich des Wiehengebirges als natürliche Eintragsquelle in die Gewässer vermutet werden (Kap. 29.1).

In den moorigen Bereichen (v. a. in den quartärzeitlichen BE 01R13d und 01R15c) können Eisen, Mangan und unter anderem Arsen an der organischen Substanz angereichert und bei wechselnden Redox-Verhältnissen mobilisiert werden. So erreichen die HGW in den Nordwestdeutschen Moorniederungen (HGC 01R13d) im Grundwasser Konzentrationen von bis zu $5,1 \mu\text{g/l}$ Arsen, $26,6 \text{ mg/l}$ Eisen und knapp 1 mg/l Mangan (HGW Gw 2012). In den Oberflächengewässern kann ein vergleichbares Phänomen, wenn auch in verminderter Form, beobachtet werden (BE 01R13d_01R15c: $HGW_{\text{Arsen}} = 1,4 \mu\text{g/l}$; $HGW_{\text{Eisen}} = 1,9 \text{ mg/l}$; $HGW_{\text{Mangan}} = 368,1 \mu\text{g/l}$ bzw. $0,4 \text{ mg/l}$).

Tab. 29-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Weser																		Hunte		
		01R13b	01R13d 01R15c	02K1.3 (Nord) 05K1.2 05K1.3	02M1	02M4	02M5	05M3.2	05M4.2	05M4.4	05M4.5	05M5.1	(Nord) 05M5.2	(Nord) 05M5.3	(Süd) 05M5.2	(Süd) 05M5.3	05M5.4 05M5.5	05M5.6	05M5.7	Misch- bereich	01R13d	05M4.2
Ag	n > BG																					
	50. P.																					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.																					
As	n > BG	13	23	17			6	5		8	28	5	37	37	18	18	26		9	11		
	50. P.	0,6	0,7	0,5			0,1	1,1		0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2		0,5	0,4		
	90. P.	1,0	1,4	1,2	n.a.	n.a.	0,4	1,9	n.a.	1,3	0,8	0,8	1,9	1,9	1,1	1,1	0,7	n.a.	0,8	0,5	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,1	1,5	1,6			0,8	2,2		1,4	0,9	0,8	4,0	4,0	1,6	1,6	2,0		0,7	0,5		
B	n > BG	13	19	17				7		8	17	7	18	18					9	69		
	50. P.	54,2	39,3	19,7				49,9		17	27,5	33,4	13,2	13,2					10	16,1		
	90. P.	65,4	43,7	58,6	n.a.	n.a.	n.a.	79,2	n.a.	75,9	45,5	72,6	38,7	38,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	40,5	48,9	n.a.	n.a.
	Max. N.	65,0	45,0	140,0				80,0		167	69,0	84,0	120,0	120,0					64,0	135,0		
Ba	n > BG	8	20	28	9		15			14	22	7	27	27	24	24	33		11	13		
	50. P.	60,5	61,0	55,9	44,8		27,3			32,5	50,9	60,8	92,1	92,1	150,7	150,7	60,0		65,7	50,5		
	90. P.	66,1	84,5	89,0	73,7	n.a.	58,8	n.a.	n.a.	53,2	76,1	108,1	190,2	190,2	340,4	340,4	92,3	n.a.	100,1	80,7	n.a.	n.a.
	Max. N.	68,0	87,0	120,0	74,0		64,0			58	91,0	110,0	270,0	270,0	280,0	280,0	110,0		110,0	83,0		
Be	n > BG		6															8		6		
	50. P.		0,01															0,03		0,01		
	90. P.	n.a.	0,03	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,13	n.a.	n.a.	0,03	n.a.
	Max. N.		0,07															0,18		0,07		
Cd	n > BG	7	23	25		18	8	6		7	27	7	24	24	14	14		12		23		
	50. P.	0,03	0,01	0,01		0,01	0,01	0,02		0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,07		0,01		
	90. P.	0,07	0,04	0,04	n.a.	0,08	0,05	0,07	n.a.	0,09	0,03	0,01	0,02	0,02	0,05	0,05	n.a.	0,24	n.a.	n.a.	0,04	n.a.
	Max. N.	0,08	0,08	0,09		0,21	0,1	0,07		0,08	0,05	0,01	0,05	0,05	0,08	0,08		0,31		0,08		
Co	n > BG	9	19	16		10	7	6		7	29	5	21	21	16	16	23	12		10		
	50. P.	0,3	0,4	0,1		0,1	0,1	0,3		0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2		0,1		
	90. P.	0,8	1,1	0,3	n.a.	0,2	0,2	0,4	n.a.	0,8	0,3	1,8	0,3	0,3	0,9	0,9	0,2	0,8	n.a.	0,2	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,0	0,9	0,5		0,5	0,3	0,3		0,9	0,4	1,5	0,3	0,3	1,3	1,3	0,4	1,4		0,4		
Cr	n > BG		8			9				8		20	20			11			8			
	50. P.		0,2			0				0,1		0,3	0,3			0,4			0,2			
	90. P.	n.a.	0,8	n.a.	n.a.	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,7	n.a.	0,9	0,9	n.a.	n.a.	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	0,8	n.a.
	Max. N.		2,4			10				1,6		1,0	1,0			0,7			2,4			
Cu	n > BG	8	24	36	22		27	17	24	12	26	9	26	26	18	18	86	40	56			
	50. P.	2,4	1,4	1,2	1,4		0,9	2,0	1,1	1,9	1,1	1,2	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	1,0			
	90. P.	4,2	3,5	2,2	2,6	n.a.	2,4	4,6	8,2	5,1	1,8	4,0	1,5	1,5	1,6	1,6	2,2	1,8	3,6	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	4,9	4,3	3,0	4,2		3,0	6,3	10,0	7	2,2	5,7	2,0	2,0	1,4	1,4	5,0	3,3	11,1			
Fe	n > BG	9	16	37	6	29	8	10		9	30		28	28	14	14	21	11	8	18		
	50. P.	0,4	0,6	0,3	0,0	0	0	0,4		0,4	0,5		0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,0		
	90. P.	2,1	1,9	1,0	0,3	0,3	0,1	1,3	n.a.	1,8	1,2	n.a.	0,3	0,3	1,5	1,5	0,3	0,4	0,4	0,3	n.a.	n.a.
	Max. N.	2,5	2,6	2,3	0,3	1	0,3	1,7		2,5	1,1		0,5	0,5	2,7	2,7	0,7	0,4	0,4	0,7		
Hg	n > BG		6																6			
	50. P.		0,002																0,002			
	90. P.	n.a.	0,007	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,007	n.a.
	Max. N.		0,017																0,017			

Fortsetzung von Tabelle 29-2

Parameter	Kennwert	Weser																		Hunte		
		01R13b	01R13d 01R15c	02K1.3 (Nord) 05K1.2 05K1.3	02M1	02M4	02M5	05M3.2	05M4.2	05M4.4	05M4.5	05M5.1	(Nord) 05M5.2	(Nord) 05M5.3	(Süd) 05M5.2	(Süd) 05M5.3	05M5.4 05M5.5	05M5.6	05M5.7	Misch- bereich	01R13d	05M4.2
Mn	n > BG	10	27	24	8	27	8	6		9	17		21	12	7	7	21	10	9	52	27	
	50. P.	33,5	77,6	39,6	17,9	0,6	0,2	61,3		13,9	28,1		3,1	26,9	37,5	37,5	1,7	36,7	0,3	6,5	77,6	
	90. P.	90,9	368,1	98,3	149,6	7,4	5,4	139	n.a.	255,4	109,5	n.a.	37,6	63,3	74,5	74,5	14,0	79,3	24,5	57,2	368,1	n.a.
	Max. N.	51,0	1100,0	200,0	330,0	20,0	47,0	160		783,0	180,0		500,0	110,0	99,0	99,0	35,0	110,0	572,0	89,0	1100,0	
Mo	n > BG	7	21	42		10		8		11	20		22	9	9	9	22				21	
	50. P.	0,4	0,4	0,6		0,1		0,5		0,4	0,5		0,3	0,5	0,4	0,4	0,3				0,4	
	90. P.	0,5	0,7	1,0	n.a.	0,2	n.a.	0,7	n.a.	1,1	1,7	n.a.	1,0	0,9	0,7	0,7	0,9	n.a.	n.a.	n.a.	0,7	n.a.
	Max. N.	0,5	0,6	1,2		0,4		0,7		1,4	2,1		1,8	1,0	0,7	0,7	1,9				0,6	
Ni	n > BG		21	14	9	21	11			8	21		6				12	10			21	
	50. P.		1,8	0,5	3,8	0,7	0,5			2,1	0,9		0,2				0,2	1,4			1,8	
	90. P.	n.a.	4,8	2,0	14,1	3	2,6	n.a.	n.a.	4,5	1,7	n.a.	1,0	n.a.	n.a.	n.a.	2,3	3,7	n.a.	n.a.	4,8	n.a.
	Max. N.		8,1	6,4	16,0	9,1	6,3			6,1	2,0		3,2				15,0	5,4			8,1	
Pb	n > BG	7	20	35		17	7	5		9	31	6	53	53	14	14	28			8	20	
	50. P.	0,5	0,1	0,2		0,2	0,3	0,2		0,6	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1			0,1	0,1	
	90. P.	1,6	0,6	0,4	n.a.	0,8	1,5	0,9	n.a.	2,5	0,8	0,5	1,2	1,2	1,0	1,0	0,4	n.a.	n.a.	0,8	0,5	n.a.
	Max. N.	1,5	1,3	0,5		1,9	2,6	1,0		2,8	1,3	0,5	0,8	0,8	1,4	1,4	0,4			2,5	1,3	
Se	n > BG														5	5						
	50. P.														0,5	0,5						
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,6	0,6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.														0,7	0,7						
SO ₄	n > BG	10	17	20	9	43	20	6		13	28	7	44	44	8	8	33	12	11	20		
	50. P.	61,2	55,7	57,8	19,4	32,2	23,5	52,4		59,2	53,9	148,7	45,2	45,2	38,6	115,1	75,7	30,3	53,4	30,1		
	90. P.	110,8	66,2	93,2	24,2	66,5	35,7	67,0	n.a.	101,9	74,4	312,3	173,7	173,7	49,6	347,4	145,4	45,4	141,2	75,0	n.a.	n.a.
	Max. N.	130,0	68,0	89,2	24,0	116,0	36,0	69,0		118	75,0	345,0	351,0	351,0	51,0	480,0	156,0	52,0	159,7	100,0		
Ti	n > BG																					
	50. P.																					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Tl	n > BG					6					5	5					7					
	50. P.					0,01					0	0,01					0,01					
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,01	0,01	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,02	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
U	n > BG	13	24	43		16	19	8	20	11	30	10	39	39	26	26	49	18	44	11	24	20
	50. P.	0,31	0,24	0,38		0,18	0,15	0,18	0,22	0,22	0,43	0,35	0,41	0,41	0,20	0,20	0,22	0,07	0,45	0,23	0,24	0,22
	90. P.	0,86	0,78	0,70	n.a.	0,54	0,29	0,78	0,47	0,56	0,74	0,96	0,84	0,84	1,72	1,72	0,62	1,05	1,39	0,50	0,78	0,47
	Max. N.	1,50	1,00	0,81		1,20	0,42	1,20	0,80	0,46	1,10	1,20	1,60	1,60	1,50	1,50	1,60	1,30	3,60	0,56	1,00	0,8
V	n > BG	7	16	21		9	6	5		6	25		27	27	15	15	13	8	9	7		
	50. P.	0,7	0,7	0,6		0,5	0,5	1,5		0,8	0,8		0,8	0,8	1	1	0,3	0,4	0,9	0,4		
	90. P.	1,7	2,1	1,8	n.a.	1	0,8	3,0	n.a.	1,4	1,8	n.a.	1,8	1,8	2,4	2,4	1,2	1,1	1,5	0,9	n.a.	n.a.
	Max. N.	2,1	2,2	3,5		1,3	1	2,6		1,6	2,7		2,5	2,5	3,5	3,5	2,9	1,8	1,3	1,5		
Zn	n > BG	15	20	37	22		19	27	35	14	139	23	17	17	121	121	62		34	79		
	50. P.	7,4	2,7	3,5	52,9		3,1	8,6	4,0	14,2	5,5	9,1	2,7	2,7	4,0	4,0	3,2		3,7	9,2		
	90. P.	12,2	17,5	11,2	87,9	n.a.	8,0	24,9	11,5	35,7	15,4	18,7	7,0	7,0	11,6	11,6	10,4	n.a.	10,1	21,9	n.a.	n.a.
	Max. N.	13,0	31,0	23,0	120,0		11,0	27,0	27,0	41	48	25,0	11,0	11,0	35,0	35,0	30,0		11,0	49,0		

Bereits in Kapitel 28.3 wurde (u. a.) auf die erhöhten Barium- und Sulfat-HGW in Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper hingewiesen, die mit der Verwitterung von Feldspäten, Glimmer und der Auslaugung von Gips einhergehen und ebenfalls durch die HGW im Grundwasser bestätigt wurden. Im nördlichen Keuper liegen die ermittelten HGW unter denen des südlichen Keupers. Anders als im Süden des TEZG verlaufen die Gewässer im Wechsel durch sulfatischen und durch klastischen Keuper (BE 05M5.3 bzw. 05M5.2). Durch die Vermischung beider BE erscheint auch der Einfluss der sulfatischen Gesteine auf die Hintergrundkonzentrationen in den Gewässern geringer. Während sich somit im Wahrscheinlichkeitsnetz im südlich gelegenen Keuper eine geogene Sulfat-Anomalie im Bereich der BE 05M5.3 aufzeigte und diese separat ausgewertet wurde, konnten die Gesteine des nördlichen Keupers zusammengeschlossen ausgewertet werden.

Unmittelbar im Abstrom von Mineralquellen können gegenüber den ermittelten HGW erhöhte Konzentrationen gemessen werden, doch nicht in jedem Fall standen Messstellen zur Verfügung. Dort wo geeignete Messstellen unterhalb entsprechender Quellen vorlagen, bilden die Messwerte meist das Maximum der Auswertung. Folglich können in FWK mit fehlenden Eingangswerten die HGW unterschätzt werden.

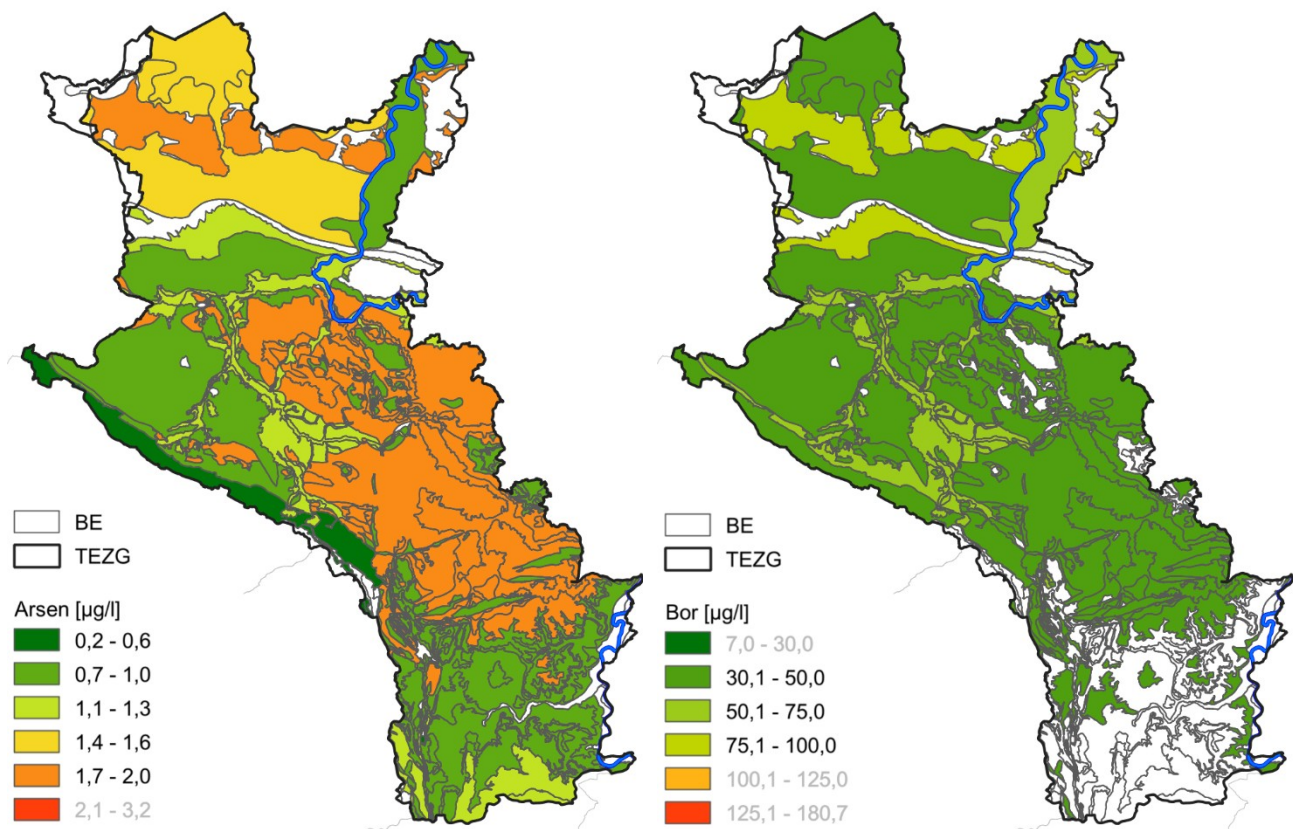


Abb. 29-4: HGW_{ges} für Arsen und Bor in den BE der TEZG Weser und Hunte

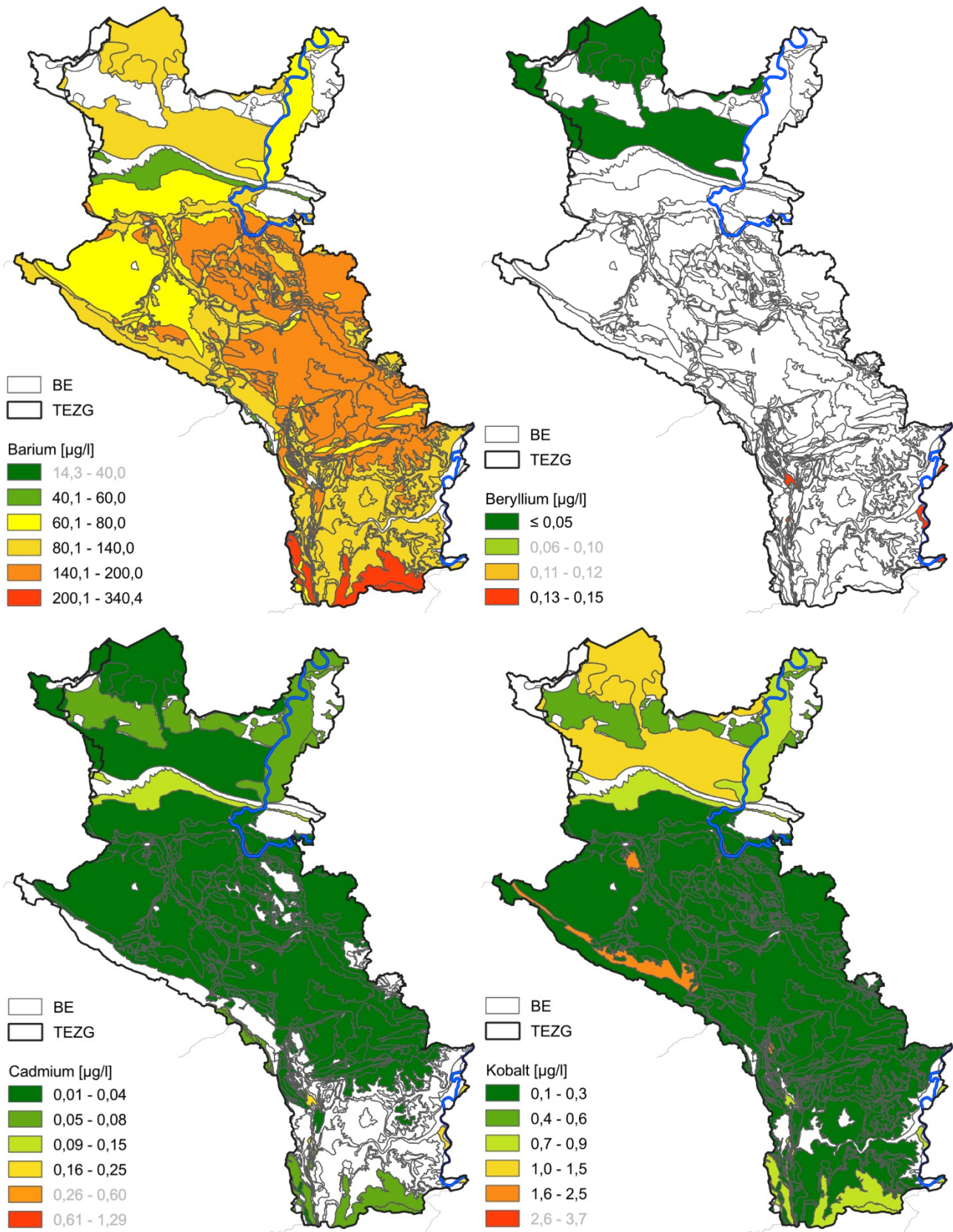


Abb. 29-5: HGW_{ges} für Barium, Beryllium, Cadmium und Kobalt in den BE der TEZG Weser und Hunte

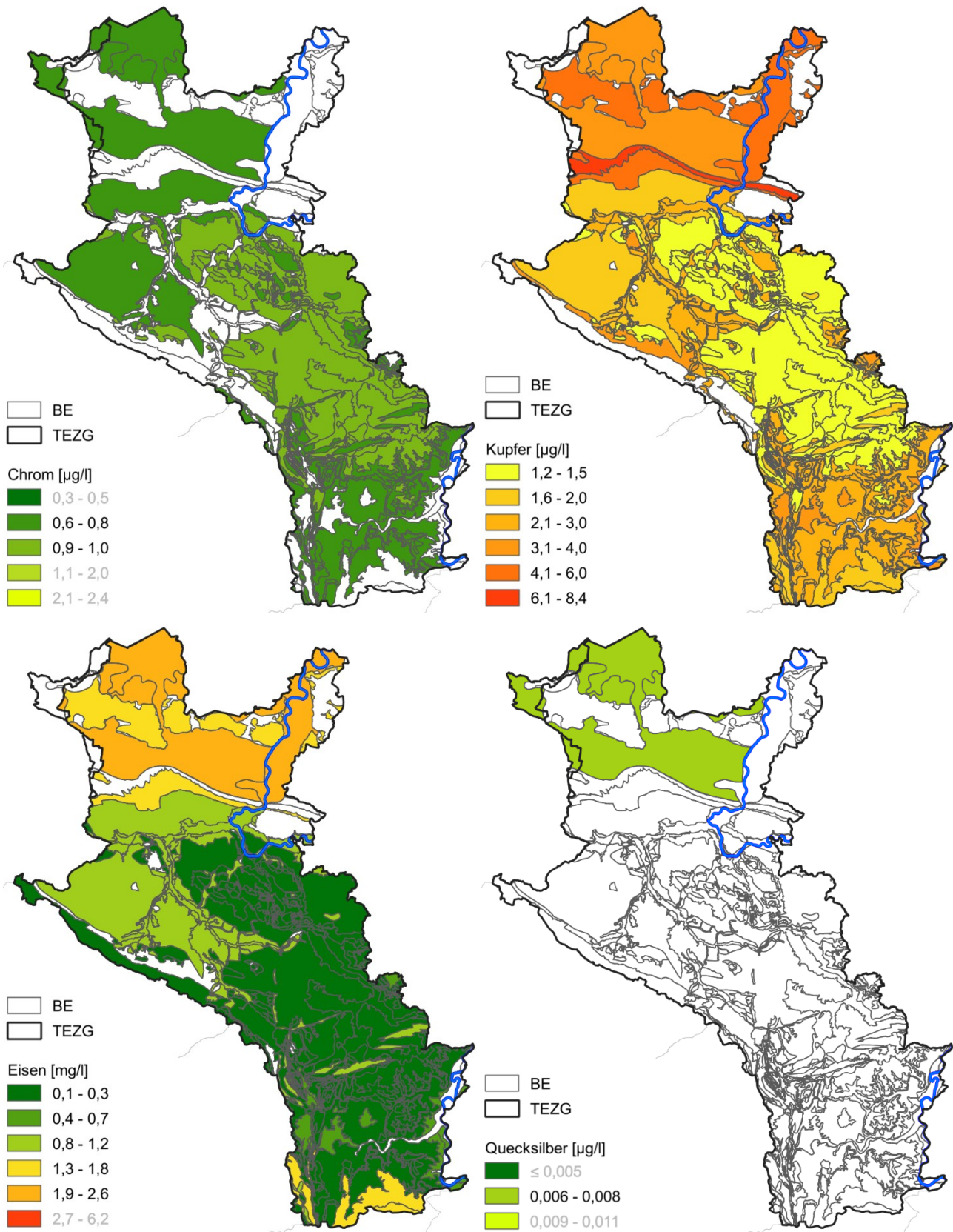


Abb. 29-6: HGW_{ges} für Chrom, Kupfer, Eisen und Quecksilber in den BE der TEZG Weser und Hunte

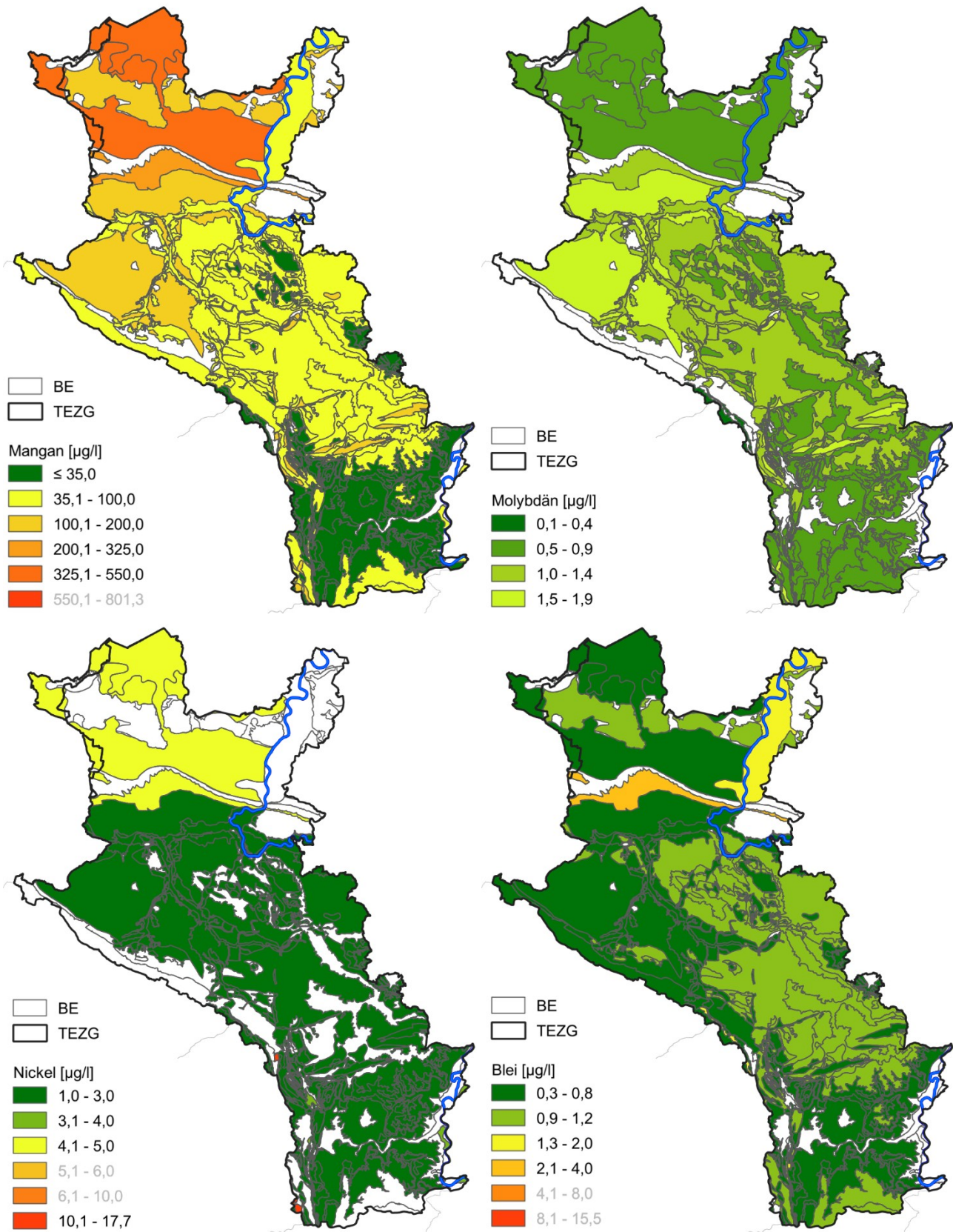


Abb. 29-7: HGW_{ges} für Mangan, Molybdän, Nickel und Blei in den BE der TEZG Weser und Hunte

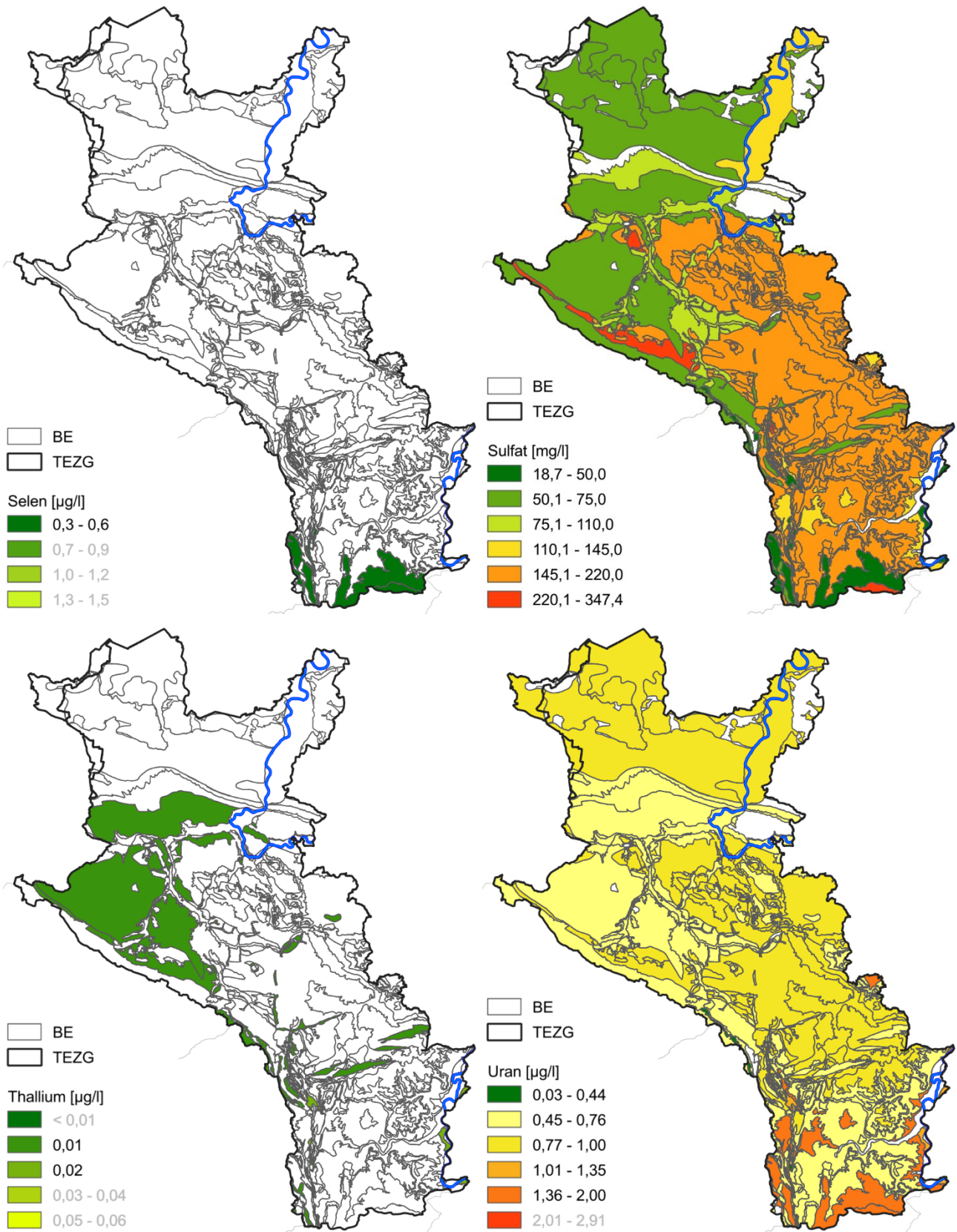


Abb. 29-8: HGW_{ges} für Selen, Sulfat, Thallium und Uran in den BE der TEZG Weser und Hunte

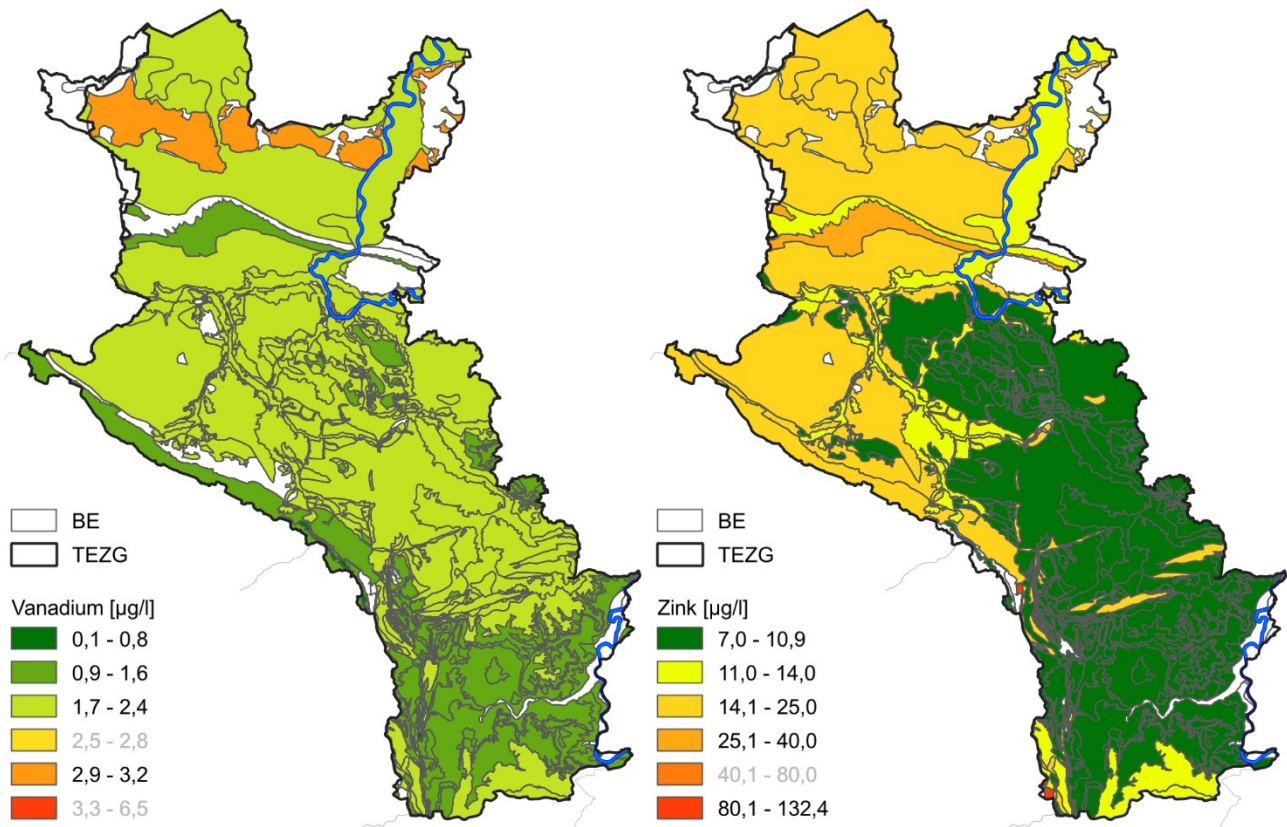


Abb. 29-9: HGW_{ges} für Vanadium und Zink in den BE der TEZG Weser und Hunte

30 Obere Ems und Hase

30.1 Gebietsbeschreibung

Das TEZG der Oberen Ems (4 011 km²) kann zusammen mit dem TEZG der Hase (118 km²) drei Großlandschaften zugeordnet werden. Der Südosten der Oberen Ems fällt in die Westfälische Bucht und wird durch den Teutoburger Wald als natürliche morphologische und geologische Trennlinie vom Weserbergland (Osnabrücker Hügelland) und dem Westfälischen Tiefland (Plantlünner Sandebene) im Norden getrennt. Im Süden von Detmold erreicht der Teutoburger Wald mit knapp 390 m ü. NHN seinen höchsten Punkt im TEZG der Oberen Ems (Abb. 30-1). Bei Ibbenbüren erreicht er nur noch Höhen von knapp 100 m ü. NHN (WMS DTK 100). In Abbildung 30-1 wird die physische Karte der TEZG Obere Ems und Hase wiedergegeben. Abbildung 30-2 zeigt die geologischen Verhältnisse innerhalb der hier beschriebenen TEZG.

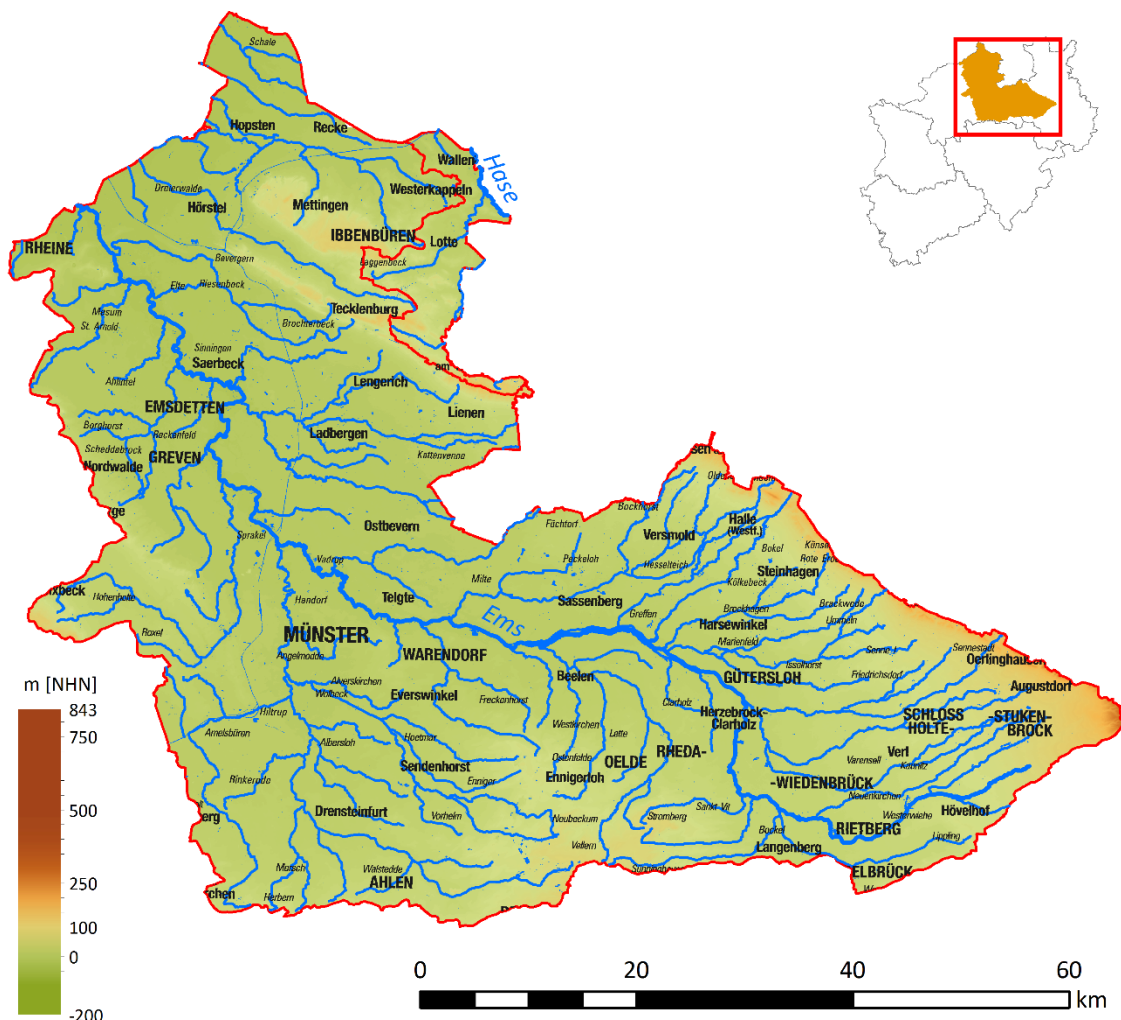


Abb. 30-1: TEZG Obere Ems und Hase

Sowohl das TEZG der Oberen Ems als auch das TEZG der Hase sind überwiegend landwirtschaftlich geprägt. Bei insgesamt rund 65 % (TEZG Obere Ems) und 60 % (TEZG Hase) landwirtschaftlich genutzter Fläche (ATKIS) fallen bis zu 51 % (Obere Ems) bzw. 35 % (TEZG Hase) Ackerflächen zu (MUNLV 2005 h).

Geologie/Hydrogeologie

Das Deckgebirge des Münsterländer Kreidebeckens wird im Südwesten der Oberen Ems aus Mergelsteinen des Kernmünsterlandes aufgebaut (IS GK 100; Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Nach Nordosten hin wird die Kreide verstärkt durch quartärzeitliche Sedimente überlagert, die dem Sandmünsterland zugeordnet werden. Die sandigen, teilweise kiesigen Schmelzwasserablagerungen im Osten des TEZG gehören der Senne an und bilden einen wasserwirtschaftlich bedeutenden Porengrundwasserleiter, der bis in das TEZG der Lippe reicht. Dort, wo die Sennesande an den Teutoburger Wald angrenzen, sind Grundwasserflurabstände von bis zu 15 m möglich, zum Zentrum des Beckens nehmen sie aber auf bis zu < 1 m ab. Einen größeren Teil des Sandmünsterlandes (Ostmünsterland) nehmen die Fein- und Mittelsande der Niederterrassen ein, die in der Verebnungsfläche der Emsniederungen abgelagert wurden (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Der Grundwasserflurabstand ist im Bereich der Terrassenebenen mit durchschnittlich < 1 – 3 m gering (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016; HygrisC). Örtlich sind Böden mit anmoorigem Charakter anzutreffen (IS GK 100; IS BK 50).

Eine geologische und wasserwirtschaftliche Besonderheit bilden die isolierten Porengrundwasserleiter des Münsterländer Kiessandzuges sowie der Urems-Rinne. Die Kiessandrinne entstand im Verlauf der Saale-Eiszeit und schnitt sich als Schmelzwasserfluss in die kreidezeitliche Emscher-Formation ein (WISOTZKY 2011); sie erstreckt sich im TEZG der Oberen Ems von Enniger (Sendenhorst) über Münster bis nördlich von Neuenkirchen. Die Urems-Rinne, welche zwischen Rietberg und Rheine verläuft, stellt einen verlassenen Flusslauf des Eems dar, der nachfolgend durch mächtige weichselzeitliche Sedimente wiederaufgefüllt wurde (LENZ 1997). Beide Rinnensysteme können teilweise über 25 m mächtige Sedimentfüllungen aufweisen.

Die steil gestellten, zum Teil überkippten Schichten der Ober- und Unterkreide, die den Höhenzug des Teutoburger Waldes bilden (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016), begrenzen das Münsterländer Kreidebecken im Nordosten. Die Durchlässigkeit der Kalk- und Kalkmergelsteine (Oberkreide) bzw. der Ton- und Sandsteine (Unterkreide) variiert je nach Intensität von Verkarstungserscheinungen und Zerrüttung der Festgesteine. Am Fuß sowie im Kammbereich des Teutoburger Waldes tritt Grundwasser an Karst- sowie Mineralquellen aus (DEUTLOFF 1978; IS Qk).

Das TEZG der Hase fällt in den Raum des Nordwestdeutschen Berglandes, welches bis in das TEZG der Oberen Ems reicht. Nördlich des Teutoburger Waldes setzt sich der Untergrund aus einem komplexen Schollenpuzzle zusammen (GD NRW 2003). Sowohl jurassische als auch triassische Festgesteine werden mitunter nur durch gering mächtige Lockergesteine des Quartärs bedeckt (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Am Schafberg wurden im Ibbenbürener Karbon-Horst Wechselfolgen karbonischer Sand- und Tonsteine mit eingeschalteten Kohleflözen bis zu 100 m gegenüber ihrer Umgebung herausgehoben (GD NRW 2003). Der Bockradener Graben unterteilt die Horst-Scholle in einen Nordwest- und einen

Südostteil. Im Zentrum des Grabens ist das Karbon von Zechstein-Ablagerungen sowie mitunter tertiär- und quartärzeitlichen Lockergesteinen überlagert. Die Horststruktur ist durch die Randstörungen gegenüber ihrem Vorland abgedichtet und bildet ein eigenständiges hydrogeologisches Regime (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). In nordwestliche Richtung wird das Schollengebiet des Osnabrücker Hügellandes durch quartärzeitliche Lockergesteine der Ems-Vechte-Niederung überlagert (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016), in denen lokal Moorbildungen vorzufinden sind (IS BK 50).

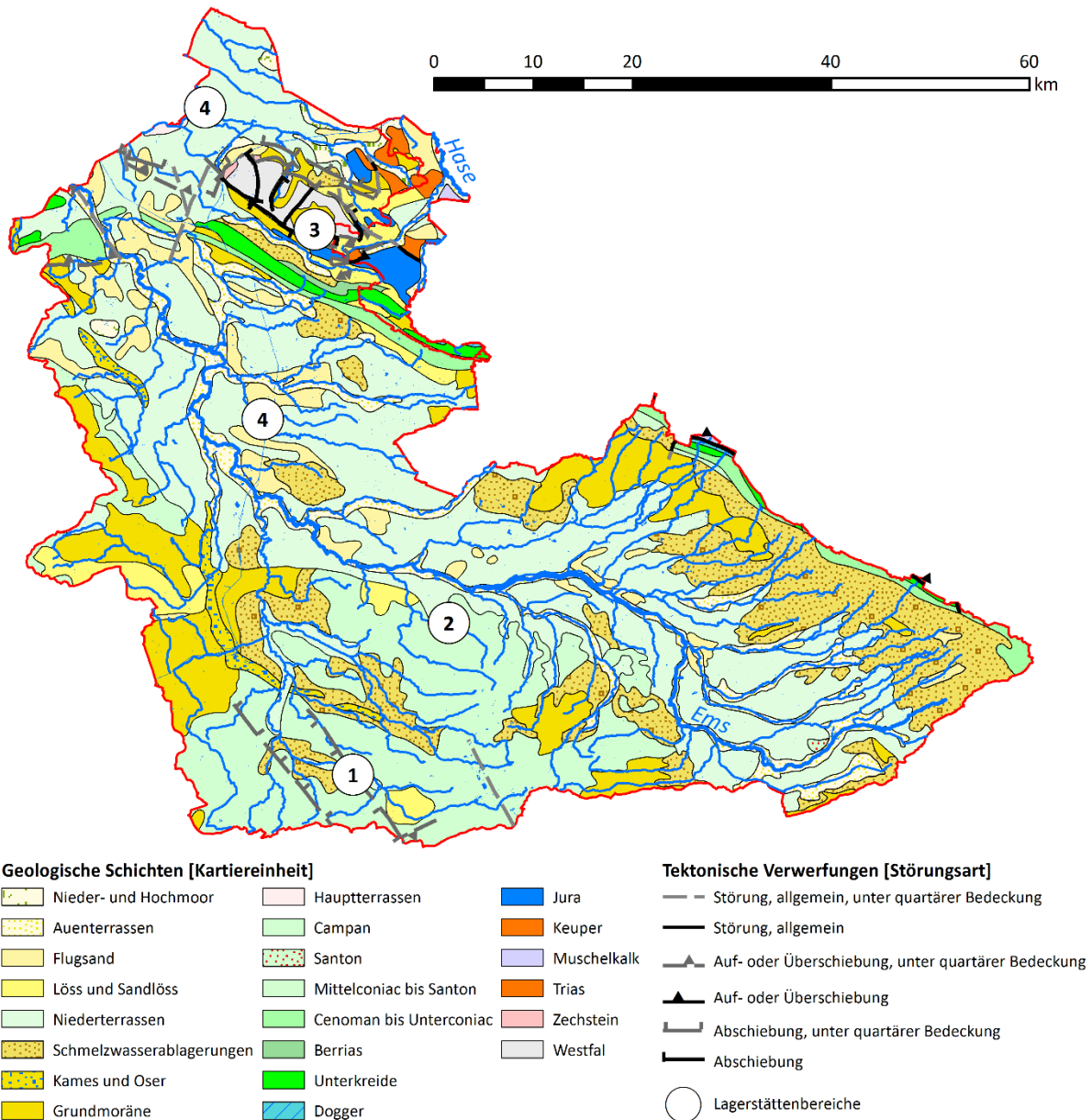


Abb. 30-2: Geologie und Lagerstätten in den TEZG Obere Ems und Hase

Abgesehen von Festgesteinsbereichen der Höhenzüge kann weitestgehend im gesamten Gebiet (TEZG Obere Ems und Hase) von einer Anbindung der Gewässer an das Grundwasser ausgegangen werden (LANUV 2016 d).

Lagerstätten und Mineralisation

In die Kalkmergelsteine der Oberkreide (Campan) im Süden/Südwesten des TEZG der Oberen Ems (Abb. 30-2: Markierung 1) sind **Strontianitgänge** eingeschaltet. Die Entstehung der Gangvorkommen ist bis heute nicht abschließend geklärt. GLA (1995) führt aus, dass im Tertiär aufsteigende Tiefenwässer vermutlich zu einer Mobilisierung von Strontium aus den campanen Gesteinen führte, welches wiederum auf Klüften auskristallisiert wurde. WESCHE (2017) schlussfolgert wiederum, dass die Bildung der Strontianitminerale an den Aufstieg von Solewässern aus dem tiefen Grundwasserstockwerk des Kreide-Deckgebirges gebunden ist.

In Regionen des **Kreises Warendorf** (Abb. 30-2: Markierung 2) wurden im Grundwasser wiederholt erhöhte Borkonzentrationen gemessen (bis zu 7 mg/l), die im Zusammenhang mit Grundwasserförderungen aus Gesteinen der Emscher-Formation stehen (Kreis Warendorf 2010). Durch WISOTZKY & DROSTE & BANNING (2017) wurden sediment- und hydrochemische Daten der Emscher-Formation im Münsterland zusammengestellt und unter anderem im Hinblick auf Borvorkommen analysiert. Zwar konnte die Herkunft des Bors anhand der Ausarbeitungen nicht zur Gänze geklärt, die Vermutung einer geogenen Ursache konnte aber gefestigt werden.

Am **Schafberg (Ibbenbürener Karbon-Horst)** (Abb. 30-2: Markierung 3) sind neben karbonischen, flözführenden Schichten auch Eisenerz- und Buntmetallervorkommen im Zechstein bekannt, welche an Verwerfungen und Randabbrüche der Horststruktur gebunden sind (THIERMANN 1970). Hierbei sind primär Vorkommen von Bleiglanz und Zinkblende zu nennen, aber auch Kupferkies und Pyrite liegen am Schafberg vor (THIERMANN 1970; IS Erz; STORK & BACHMANN & HOYER 1973). In Steinbrüchen bei Uffeln (Westrand des Schafberg-Horstes) wurden zudem Barytgänge aufgefunden (HARMS 1986). Auch STADLER (1971) bestätigt stellenweise Baryt- und Schwefelkiesvorkommen. Darüber hinaus zeigen chemisch-mineralogische Untersuchungen des Kupferschiefers am Schafberg, dass gegenüber vergleichbaren Tonsteinen erhöhte Metallgehalte vorliegen (HARMS 1986). Erwähnenswert sind hier laut HARMS (1986) die erhöhten Blei-, Zink- und Vanadiumgehalte.

Neben lokalen Eisenerzvorkommen im Bereich des Schafberges liegen in den TEZG der Oberen Ems und Hase auch flächige, weitläufige Hinweise auf Raseneisenerze/-steine vor, die sich über die Lockergesteine der **Niederterrassen** erstrecken (beispielhafte Darstellung in Abb. 30-2: Markierung 4) (z. B. THIERMANN 1970). Bedingt durch die hohe Affinität von Arsen zu Eisen(hydr)oxiden ist in den Verbreitungsgebieten von Raseneisenerzen auch mit entsprechenden Anreicherungen von Arsen zu rechnen (KAUFMANN-BOLL et al. 2013). Toneisensteingeoden bzw. Toneisensteinbänke sind sowohl in den Tonsteinen der Lias und des Doggers (THIERMANN 1970) als auch in der Osning-Formation der Unterkreide bekannt (HESEMANN 1961).

30.2 Bewertungseinheiten

In Abbildung 30-3 und Tabelle 30-1 wird ein Überblick über die in den TEZG Obere Ems und Hase abgegrenzten BE gegeben. Sie zeigen für die BE 01R13c eine Untergliederung in einen Nord- und einen Südteil auf. Für einzelne Parameter ließen sich Teilpopulationen (mit erhöhten Konzentrationen) aus dem Wahrscheinlichkeitsnetz den moorigen Bereichen (z. B. Halverder Moor, Recker Moor, Mettinger Moor) bei Recke im Norden der BE zuordnen, sodass diese separat ausgewertet wurden.

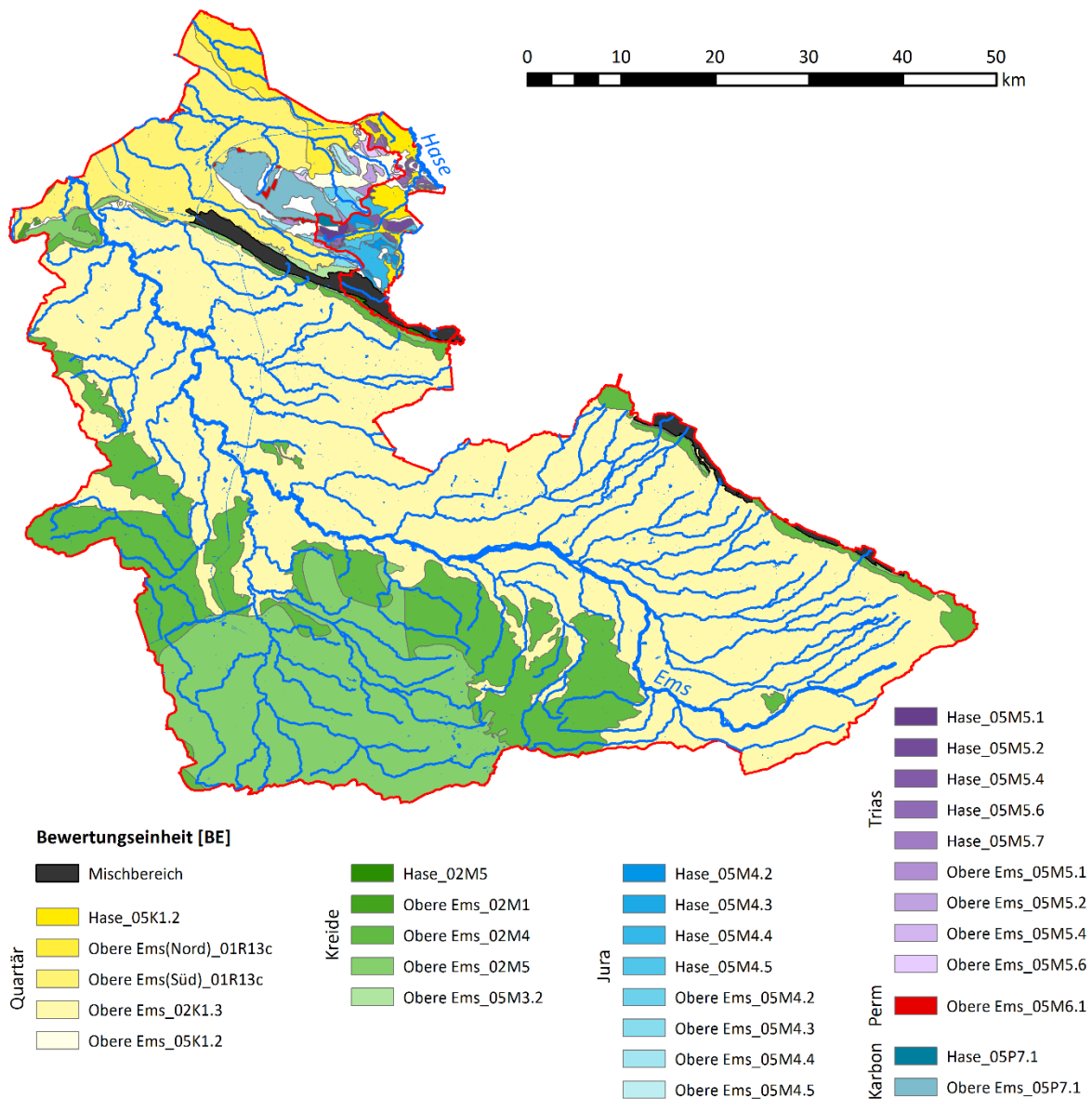


Abb. 30-3: Karte der Bewertungseinheiten in den TEZG Obere Ems und Hase

Tab. 30-1: Übersicht über die Bewertungseinheiten in den TEZG Obere Ems und Hase

Obere Ems_		Fläche [km²]
(Nord)_01R13c	Nordwestdeutsche Flussniederung	66,6
(Süd)_01R13c	Nordwestdeutsche Flussniederung	264,0
02K1.3	quartäre Sande, Kiese, Schluffe und Tone	2 248,7
05K1.2	quartäre Sande und Schluffe	19,2
02M1	Unterkreide, silikatisch	1,6
02M4	Oberkreide, silikatisch/karbonatisch	617,2
02M5	Oberkreide, karbonatisch	636,3
05M3.2	Kreide, vorwiegend silikatisch	6,5
05M4.2	Malm, vorwiegend silikatisch/karbonatisch	10,5
05M4.3	Malm, vorwiegend sulfatisch	1,9
05M4.4	Dogger	7,1
05M4.5	Lias	3,0
05M5.1	Trias	3,1
05M5.2	Keuper, klastisch	3,4
05M5.4	Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	3,4
05M5.6	Buntsandstein	3,4
05M6.1	Zechstein, ungegliedert (chloridisch, karbonatisch, sulfatisch)	3,5
05P7.1	karbonische Ton- bis Sandsteine (aus GR 8)	42,5
Hase_		
05K1.2	quartäre Sande und Schluffe	36,1
02M5	Oberkreide, karbonatisch	3,2
05M4.2	Malm, vorwiegend silikatisch/karbonatisch	6,1
05M4.3	Malm, vorwiegend sulfatisch	1,0
05M4.4	Dogger	17,4
05M4.5	Lias	3,0
05M5.1	Trias	4,2
05M5.2	Keuper, klastisch	4,4
05M5.4	Muschelkalk, karbonatisch-klastisch	6,5
05M5.6	Buntsandstein	3,9
05M5.7	Buntsandstein, tonig-salinar	1,0
05P7.1	karbonische Ton- bis Sandsteine (aus GR 8)	1,9

Die BE 05K1.2 erstreckt sich im Osnabrücker Hügelland über die Grenze des TEZG Hase bis in das TEZG der Oberen Ems (Abb. 30-3) und wurde für die Auswertung zusammengefasst.

Eine Vielzahl von BE fällt in den intensiv tektonisch beanspruchten Bereich des westlichen Weserberglandes (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016) im Norden des TEZG der Oberen Ems bzw. im gesamten TEZG der Hase. Sie liegen dort lediglich als einzelne, kleinräumige Schollen oder kurze Ausbisslinien vor. Nur vereinzelt konnten diesen BE repräsentative Messstellen zugeordnet werden. Mitunter verlaufen auch keine Gewässer durch die BE, sodass Eingangsdaten gänzlich fehlen. In den BE 02M1, 05M3.2, 05M6.1 der Oberen Ems sowie den BE 05M4.3, 05M5.2, 05M5.4 und 05P7.1 beider TEZG reichte die Datendichte für eine Auswertung im Wahrscheinlichkeitsnetz nicht aus. Anders verhielt es sich im Fall der BE 05M4.2, 05M4.4, 02M4.5, 05M5.1, 05M5.6 sowie 05M5.7. Für eine eigenständige Auswertung standen zwar

ebenfalls nicht ausreichend Datensätze zur Verfügung, aber durch Kombination der vorhandenen Messstellen mit denen vergleichbarer BE aus anderen TEZG (also BE, die der gleichen HGC angehören, aber in einem anderen TEZG liegen) konnten ausreichend Eingangsdaten zusammengestellt werden.

Der Höhenzug des Teutoburger Waldes markiert eine natürliche Grenze zwischen dem Münsterländer Kreide-Becken und dem Weserbergland. Die steil stehenden bis überkippten Schichten weisen nur schmale Ausbisslinien auf, die keine eigenständige Auswertung der geologischen Formationen zulassen. Da vorliegende Gewässer in der Regel alle Ausbisse queren, werden die Schichten zu einer Mischeinheit (BE Mischbereich) zusammengefasst, die TEZG-übergreifend (Weser, Obere Ems, Hase) ausgewertet wird.

30.3 Ergebnisse

In Tabelle 30-2 werden die auf Basis der BE ermittelten **Hintergrundwerte für die Gesamtgehalte** aufgeführt. Ausgewählte statistische Kennwerte werden ebenfalls erfasst. Die ermittelten HGW werden zusätzlich in den Abbildungen 30-4 bis 30-9 in Karten dargestellt.

Die BE 02M5 und 02M4 (Oberkreide, (silikatisch/)karbonatisch) zeigen insbesondere für den Parameter Bor Einflüsse der Emscher-Formation auf, die erhöhte geogene Borgehalte aufweisen kann (Kreis Warendorf 2010; WISOTZKY & DROSTE & BANNING 2017). Auch in den Grundwassermessstellen lassen sich im Schnitt Konzentrationen von 44 µg/l bis hin zu 310 µg/l beobachten (HygrisC: 2000 – 2018), was sich wiederum in den ermittelten HGW des Grundwassers widerspiegelt (HGC 02M5 = 187 µg/l bzw. HGC 02M4 = 208 µg/l; HGW Gw 2012).

Neben Bor liegen auch die Barium-HGW in den BE der Oberkreide höher als der veranschlagte Beurteilungswert (BE 02M4 = 71,1 µg/l bzw. 02M5 = 90,7 µg/l). Obwohl Strontium häufig von Barium begleitet wird (OTTO 1846), scheinen die Strontianitgänge im Bereich der (Kalk-)Mergelsteine nicht ursächlich für die erhöhten Bariumkonzentrationen zu sein. So wurde im Bereich der Lagerstätte nur vereinzelt Baryt nachgewiesen (Mineralienatlas). Neben dem Vorkommen von Baryt spielen aber auch andere Faktoren eine Rolle hinsichtlich der Bariumgehalte in Gesteinen und letztendlich der Konzentrationen in den Gewässern. So können die jeweiligen Konzentrationen einzelner Gesteinstypen z. B. abhängig vom Feldspat- und Glimmergehalt (FISCHER & PUCHELT 1974) sowie der Menge an Tonmineraldetritus oder organischer Substanz (KÖSTER 1979) deutlich variieren. PUCHELT (1967) nennt in diesem Zusammenhang für Karbonatgesteine eine natürliche Bariumspanne von 1 bis 10 000 mg/kg. Bei Betrachtung der Grundwassermessstellen ließen sich zuletzt durchschnittliche Bariumkonzentrationen zwischen 40 und 160 µg/l (HygrisC; 2000 – 2018) beobachten. Als HGW wurden im Grundwasser Konzentrationen von 159 µg/l (HGC 02M5) und 133 µg/l (HGC 02M4) ermittelt. Auch in den quartärzeitlichen HGC (02K1.3, 01R13c, 05K1.2) erreichen die HGW im Grundwasser Konzentrationen von 123 bis 167 µg/l (HGW Gw 2012). Diese Beobachtungen stützen die ermittelten HGW im Oberflächenwasser und legen eine geogene Überschreitung der Beurteilungswerte nahe.

In den quartärzeitlichen Sedimenten (BE 02K1.3, 01R13c und 05K1.2) liegen die ermittelten HGW vermehrt über den parameterspezifischen Beurteilungswerten. Betroffen sind z. B. Arsen, Eisen und Mangan, aber auch Kobalt, Vanadium und Nickel (vgl. Tab. 30-2). Neben der Tonfraktion spielen in den Sedimenten des Quartärs organische Substanzen eine wichtige Rolle bei der Betrachtung von Stoffanreicherungen, ebenso wie vorhandene Mangan-/Eisen(hydr)oxide. Wie in Kapitel 30.1 bereits aufgezeigt, sind in den Niederungen der TEZG der Oberen Ems und der Hase moorige und anmoorige Bereiche verbreitet und beeinflussen somit auch den Stoffhaushalt der Gewässer. Darüber hinaus zeichnet sich vor allem der Westen des Untersuchungsraumes durch Vorkommen von Raseneisenerz/-stein und Eisenstein aus (Berechtsame). Die höchsten HGW werden im nördlichen Bereich der westdeutschen Flussniederungen ermittelt (BE Nord_01R13c) und hängen mit der dortigen Verbreitung von Niedermooren zusammen, die ein erhöhtes Potenzial für Metallakkumulation und -mobilisierung aufweisen. Stellt man nun die HGW der Oberflächengewässer den HGW im Grundwasser gegenüber, lassen sich oftmals vergleichbare Tendenzen beobachten. So liegen für Eisen in den nordwestdeutschen Flussniederungen mit Abstand die höchsten HGW im Grundwasser vor (18,7 mg/l), während die ermittelten Werte in den HGC 02K1.3 und 05K1.2 jeweils bei ca. 3 mg/l liegen (HGW Gw 2012). Nach Süden nehmen die ermittelten Eisen-HGW ab. Auch die HGW im Grundwasser für Kobalt folgen nach Süden einem abnehmenden Trend (z. B. HGC 01R13c \approx 9 μ g/l; HGW Gw 2012).

Die HGW für Vanadium in den BE 02K1.3 und Nord_01R13c lassen sich wiederum nicht unmittelbar anhand der Grundwasser-HGW erklären (z. B. HGC 01R13c \approx 4,2 μ g/l, BE Nord_01R13c \approx 6,5 μ g/l). Wenngleich einzelne Grundwassermessstellen durchschnittliche Vanadiumkonzentrationen von bis zu 7,7 μ g/l aufweisen, scheint die Ursache der erhöhten Werte für Vanadium verstärkt in Akkumulations- und Mobilisierungsprozessen in den Böden begründet zu liegen. HORNBERG (2003) zufolge erreichen Gesteine der Sand/Kies-Gruppe sowie der Ton-Gruppe die höchsten Vanadiumgehalte (Maximum bei 180 bzw. 255 mg/kg). Durch Anreicherungen in der Bodenzone (an Eisen(hydr)oxiden bzw. organischer Substanz; GUAGLIARDI et al. 2018) und im Zuge von Mobilisierungen können Konzentrationen in den Oberflächengewässern die des Grundwassers übersteigen. Ein vergleichbares Phänomen konnte bereits im TEZG der IJsselmeerzuflüsse beobachtet werden (Kap. 20.3).

Da es sich bei der BE 02K1.3 im TEZG der Oberen Ems um eine verhältnismäßig große BE handelt, wurden zur Verifizierung der ermittelten HGW Vergleichsauswertungen vorgenommen, bei denen der westliche und der östliche Bereich der BE separat ausgewertet wurden. Auf diese Weise kann ausgeschlossen werden, dass kleinräumige Anomalien durch die verhältnismäßig hohe Anzahl an Eingangswerten überzeichnet werden. Die ermittelten HGW konnten anhand der Vergleichsauswertungen bestätigt werden.

Im Bereich des Schafberges sind Erzvorkommen bekannt (vgl. Kap. 30.1), die zu erhöhten geogenen Konzentrationen in den Oberflächengewässern führen können. Die Lage der zur Verfügung stehenden Messstellen ließ jedoch keine Auswertung der karbonischen Ton- und Sandsteine (BE 05P7.1) oder des Zechsteins (BE 05M6.1) zu, sodass keine HGW angegeben werden können.

Tab. 30-2: Statistische Kennwerte und ermittelte HGW_{ges} (90. P.) der BE (in µg/l – Fe und SO₄ in mg/l)

Parameter	Kennwert	Obere Ems					Obere Ems und Hase							
		(Nord) 01R13c	(Süd) 01R13c	02K1.3	02M4	02M5	05K1.2	05M4.2	05M4.4	05M4.5	05M5.1	05M5.6	05M5.7	Mischbereich
Ag	n > BG			5										
	50. P.			0,001										
	90. P.	n.a.	n.a.	0,003	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			0,027										
As	n > BG	7	24	110	32	50	10		8	28	5			11
	50. P.	1,1	0,6	0,8	0,6	0,6	1,1		0,7	0,6	0,5			0,4
	90. P.	1,8	0,9	1,5	1,3	1,2	2,8	n.a.	1,3	0,8	0,8	n.a.	n.a.	0,5
	Max. N.	1,8	1,1	2,6	2,1	1,7	3,9		1,4	0,9	0,8			0,5
B	n > BG	26	26	164	63	44	14		8	17	7		9	69
	50. P.	36,7	36,7	39,8	77,9	83,1	31,0		17,0	27,5	33,4		10,0	16,1
	90. P.	54,4	54,4	78,8	180,7	159,2	76,5	n.a.	75,9	45,5	72,6	n.a.	40,5	48,9
	Max. N.	70,0	70,0	140,0	310,0	200,0	120,0		167,0	69,0	84,0		64,0	135,0
Ba	n > BG	31	31	133	33	44	15		14	22	7			13
	50. P.	74,4	74,4	65,2	48,5	56,1	59,2		32,5	50,9	60,8			50,5
	90. P.	107,7	107,7	94,0	71,1	90,7	79,3	n.a.	53,2	76,1	108,1	n.a.	n.a.	80,7
	Max. N.	140,0	140,0	120,0	89,0	120,0	88,0		58,0	91,0	110,0			83,0
Be	n > BG	6	9	21									8	
	50. P.	0,09	0,02	0,00									0,03	
	90. P.	0,14	0,05	0,03	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,13	n.a.
	Max. N.	0,15	0,07	0,25									0,18	
Cd	n > BG	25	25	104	26	35	13		7	27	7		12	
	50. P.	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03		0,04	0,01	0,01		0,07	
	90. P.	0,09	0,09	0,06	0,05	0,04	0,10	n.a.	0,09	0,03	0,01	n.a.	0,24	n.a.
	Max. N.	0,14	0,14	0,16	0,10	0,08	0,15		0,08	0,05	0,01		0,31	
Co	n > BG	5	17	107	30	38	12		7	29	5		12	10
	50. P.	2,4	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3		0,3	0,2	0,4		0,2	0,1
	90. P.	3,2	1,1	0,7	0,4	0,3	0,8	n.a.	0,8	0,3	1,8	n.a.	0,8	0,2
	Max. N.	3,3	1,4	1,6	0,7	0,4	0,6		0,9	0,4	1,5		1,4	0,4
Cr	n > BG	15	15	86	11	14				8				
	50. P.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3				0,1				
	90. P.	1,1	1,1	1,2	1,0	0,7	n.a.	n.a.	n.a.	0,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	1,7	1,7	5,0	1,4	1,0				1,6				
Cu	n > BG	29	29	98	27	26	11	24	12	26	9		40	
	50. P.	1,7	1,7	2,1	1,9	2,2	2,8	1,0	1,9	1,1	1,2		0,8	
	90. P.	3,6	3,6	5,2	3,5	4,4	3,9	8,1	5,1	1,8	4,0	n.a.	1,8	n.a.
	Max. N.	5,1	5,1	12,9	4,2	5,7	4,2	10,0	7,0	2,2	5,7		3,3	
Fe	n > BG	36	36	119	30	56	12		9	30			11	18
	50. P.	1,4	1,4	0,5	0,3	0,2	0,8		0,4	0,5			0,2	0,0
	90. P.	6,2	6,2	1,6	0,6	0,4	1,7	n.a.	1,8	1,2	n.a.	n.a.	0,4	0,3
	Max. N.	13,0	13,0	3,9	0,9	0,6	2,1		2,5	1,1			0,4	0,7
Hg	n > BG			14		6								
	50. P.			0,002		0,001								
	90. P.	n.a.	n.a.	0,004	n.a.	0,003	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			0,010		0,008								

Fortsetzung von Tabelle 30-2

Parameter	Kennwert	Obere Ems					Obere Ems und Hase							
		(Nord) 01R13c	(Süd) 01R13c	02K1.3	02M4	02M5	05K1.2	05M4.2	05M4.4	05M4.5	05M5.1	05M5.6	05M5.7	Mischbereich
Mn	n > BG	24	24	131	23	20	10		9	17		10	9	52
	50. P.	206,7	206,7	70,6	41,0	32,5	154,9		13,9	28,1		36,7	0,3	6,5
	90. P.	404,0	404,0	224,2	137,1	84,1	255,9	n.a.	255,4	109,5	n.a.	79,3	24,5	57,2
	Max. N.	420,0	420,0	570,0	360,0	88,0	280,0		783,0	180,0		110,0	572,0	89,0
Mo	n > BG	26	26	157	27	29	11		11	20				
	50. P.	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,7		0,3	0,5				
	90. P.	0,7	0,7	1,9	1,0	0,7	1,2	n.a.	1,1	1,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,8	0,8	4,7	1,5	0,6	1,4		1,4	2,1				
Ni	n > BG	27	27	174	26	20	8		8	21		10		
	50. P.	3,0	3,0	1,9	1,3	1,5	1,6		2,1	0,9		1,4		
	90. P.	8,3	8,3	3,9	2,7	2,4	3,5	n.a.	4,5	1,7	n.a.	3,7	n.a.	n.a.
	Max. N.	5,5	5,5	10,0	3,9	3,0	3,7		6,1	2,0		5,4		
Pb	n > BG	24	24	103	22	33	11		9	31	6			8
	50. P.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		0,6	0,2	0,3			0,1
	90. P.	0,7	0,7	1,0	0,8	0,9	1,4	n.a.	2,5	0,8	0,5	n.a.	n.a.	0,8
	Max. N.	0,6	0,6	2,6	1,1	2,0	2,5		2,8	1,3	0,5			2,5
Se	n > BG			20	24	42								
	50. P.			0,2	0,6	0,9								
	90. P.	n.a.	n.a.	0,5	1,0	1,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.			1,2	1,4	1,6								
SO ₄	n > BG	29	29	107	51	36	12		13	28	7	12		20
	50. P.	69,3	69,3	55,4	50,4	58,5	52,3		59,2	53,9	148,7	30,3		30,2
	90. P.	92,2	92,2	75,2	71,2	90,3	99,3	n.a.	101,9	74,4	312,3	45,4	n.a.	75,0
	Max. N.	100,0	100,0	97,8	83,0	123,0	110,0		118,0	75,0	345,0	52,0		100,0
Ti	n > BG													
	50. P.													
	90. P.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	Max. N.													
Tl	n > BG	13	13	53	7	10	7			5	5	7		
	50. P.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00			0,00	0,01	0,01		
	90. P.	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	n.a.	n.a.	0,01	0,01	0,02	n.a.	n.a.
	Max. N.	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,05			0,03	0,02	0,03		
U	n > BG	38	38	84	91	94	20	20	11	30	10	18		11
	50. P.	0,21	0,21	0,35	0,37	0,45	0,20	0,22	0,22	0,43	0,35	0,07		0,23
	90. P.	0,76	0,76	0,88	0,88	1,31	0,82	0,47	0,56	0,74	0,96	1,05	n.a.	0,50
	Max. N.	1,90	1,90	1,80	1,80	3,60	1,40	0,80	0,46	1,10	1,20	1,30		0,56
V	n > BG	8	20	87	24	49	6		6	25		8		7
	50. P.	2,8	0,8	1,1	1,3	1,3	0,4		0,8	0,8		0,4		0,4
	90. P.	6,5	1,3	2,7	2,6	2,5	1,8	n.a.	1,4	1,8	n.a.	1,1	n.a.	0,9
	Max. N.	8,3	1,5	6,4	4,1	3,5	1,5		1,6	2,7		1,8		1,5
Zn	n > BG	26	26	88	24	34	6	35	14	139	23		34	79
	50. P.	10,5	10,5	5,3	4,8	5,4	12,0	4,0	14,2	5,5	9,1		3,7	9,2
	90. P.	19,0	19,0	14,0	9,6	14,0	27,2	11,5	35,7	15,4	18,7	n.a.	10,1	21,9
	Max. N.	25,0	25,0	32,0	15,0	27,0	34,0	27,0	41,0	48,0	25,0		11,0	49,0

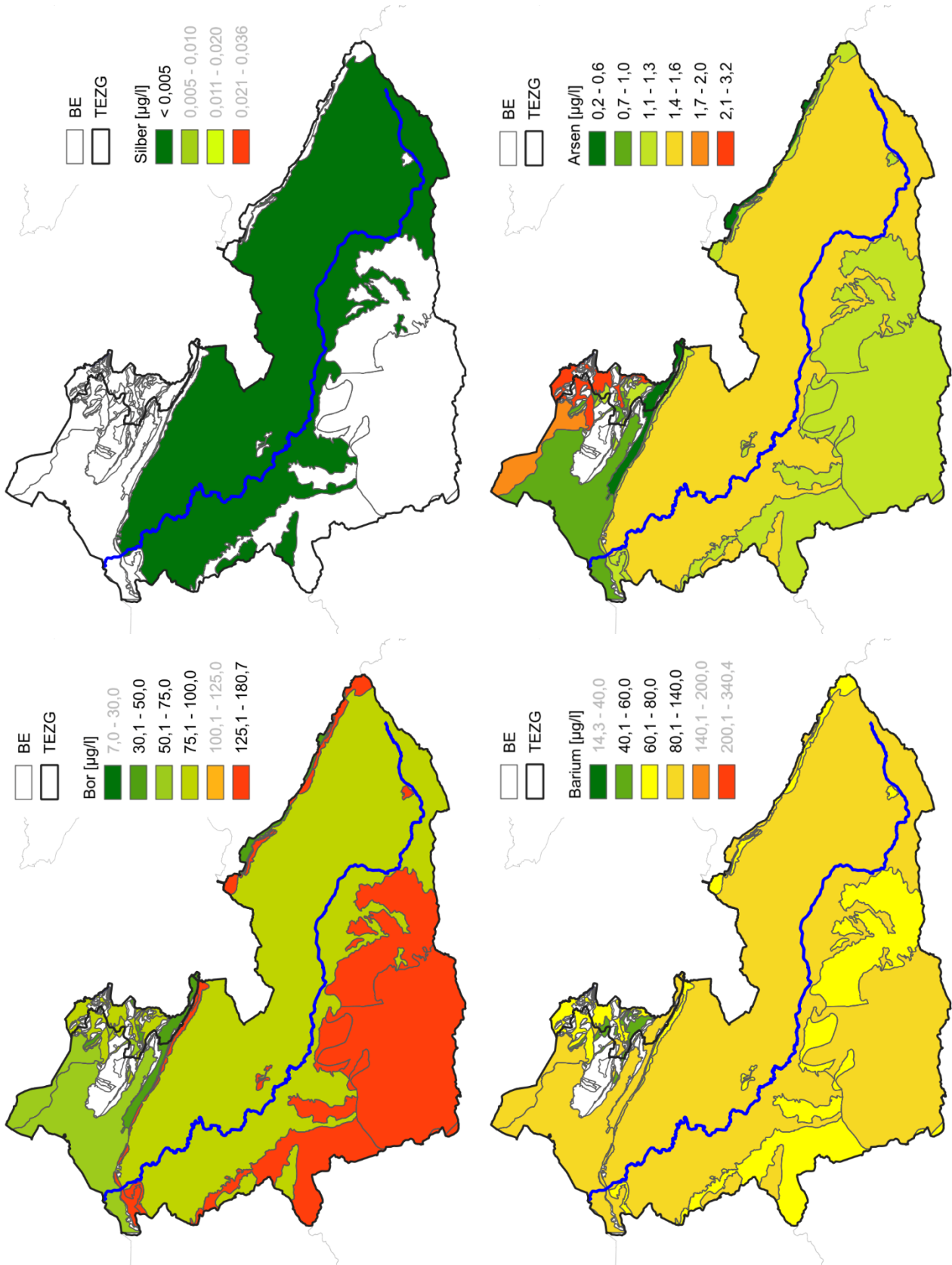


Abb. 30-4: HGW_{ges} für Silber, Arsen, Bor und Barium in den BE der TEZG Obere Ems und Hase

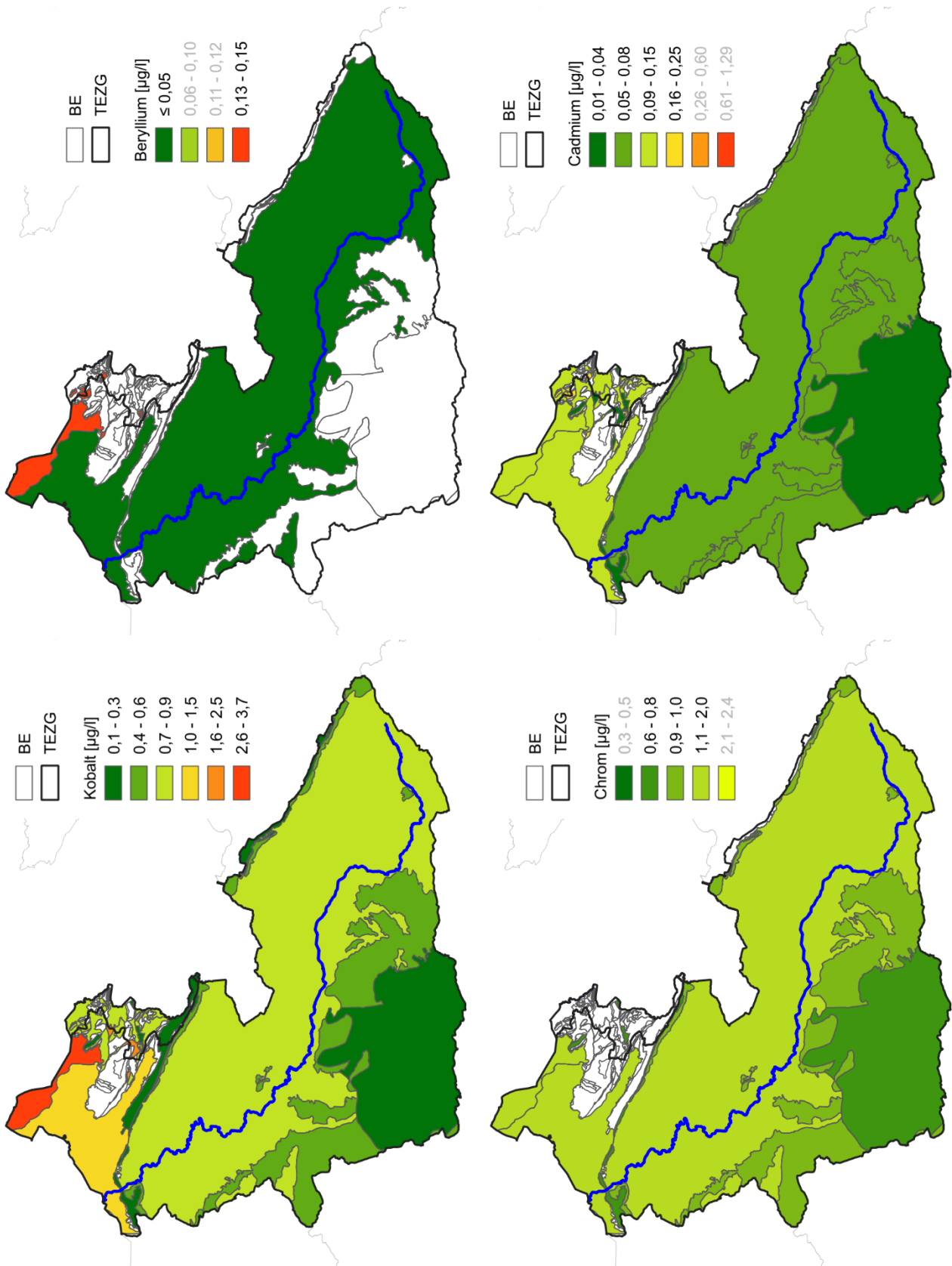


Abb. 30-5: HGW_{ges} für Beryllium, Cadmium, Kobalt und Chrom in den BE der TEZG Obere Ems und Hase

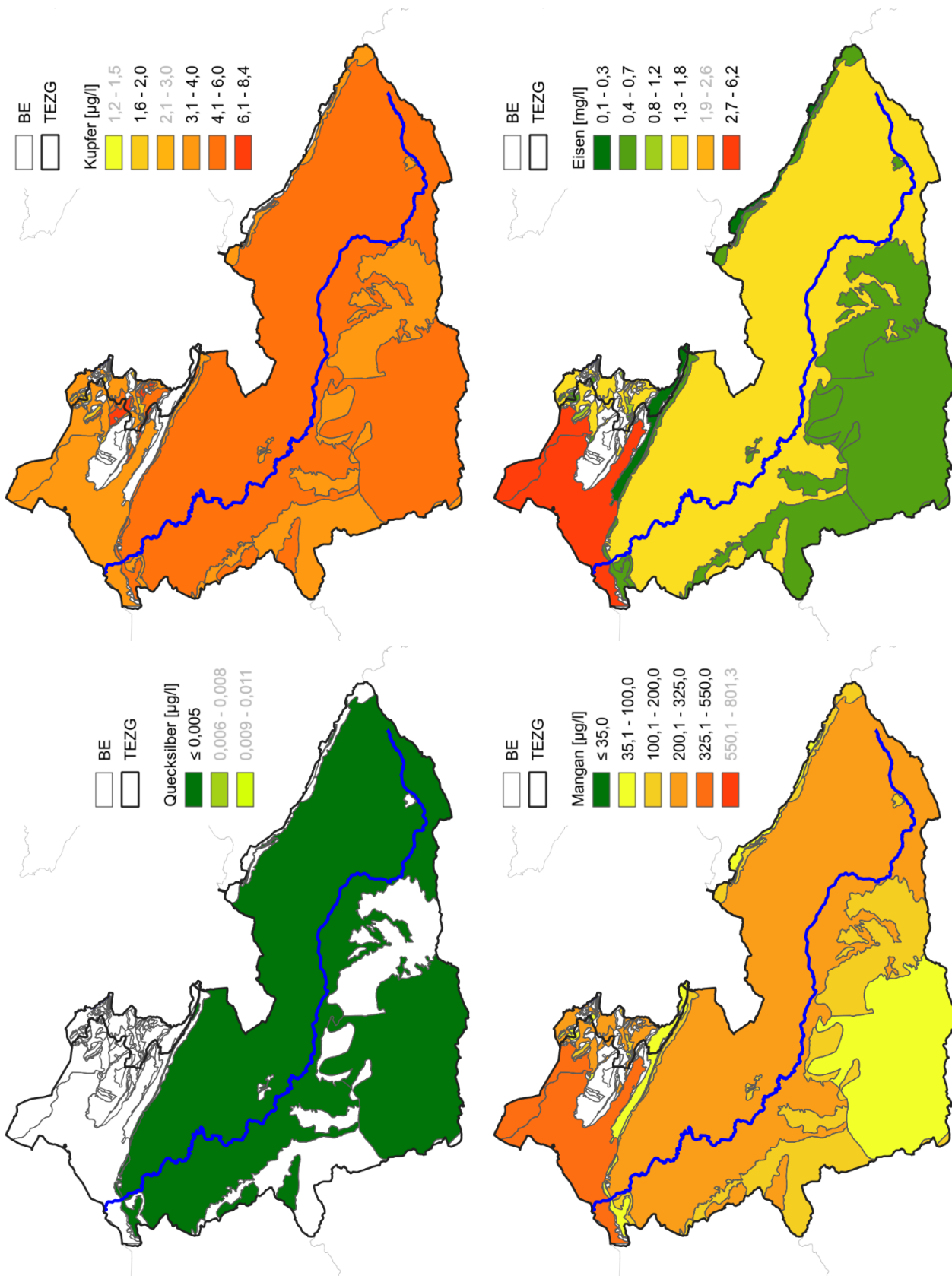


Abb. 30-6: HGW_{ges} für Kupfer, Eisen, Quecksilber und Mangan in den BE der TEZG Obere Ems und Hase

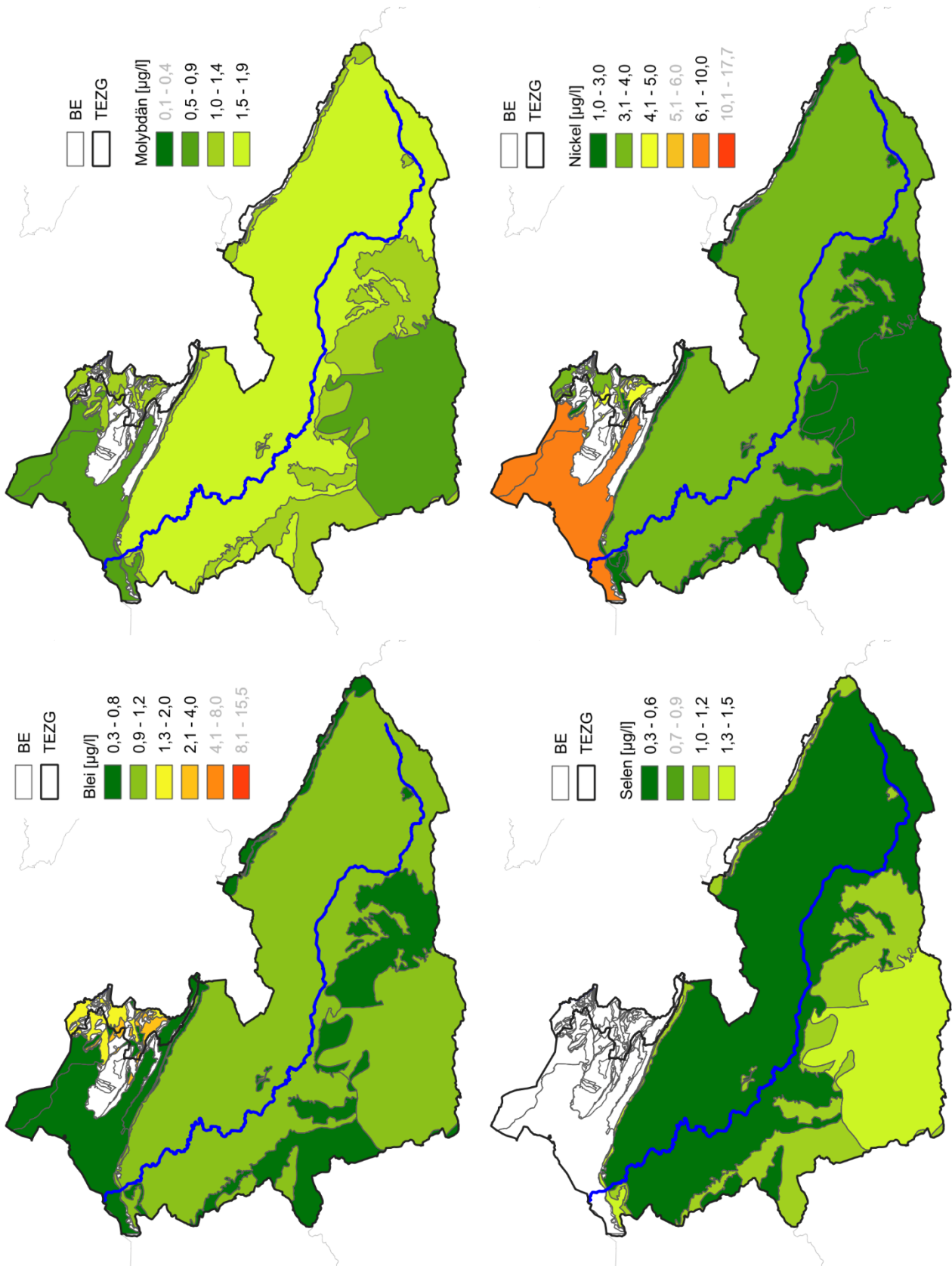


Abb. 30-7: HGW_{ges} für Molybdän, Nickel, Blei und Selen in den BE der TEZG Obere Ems und Hase

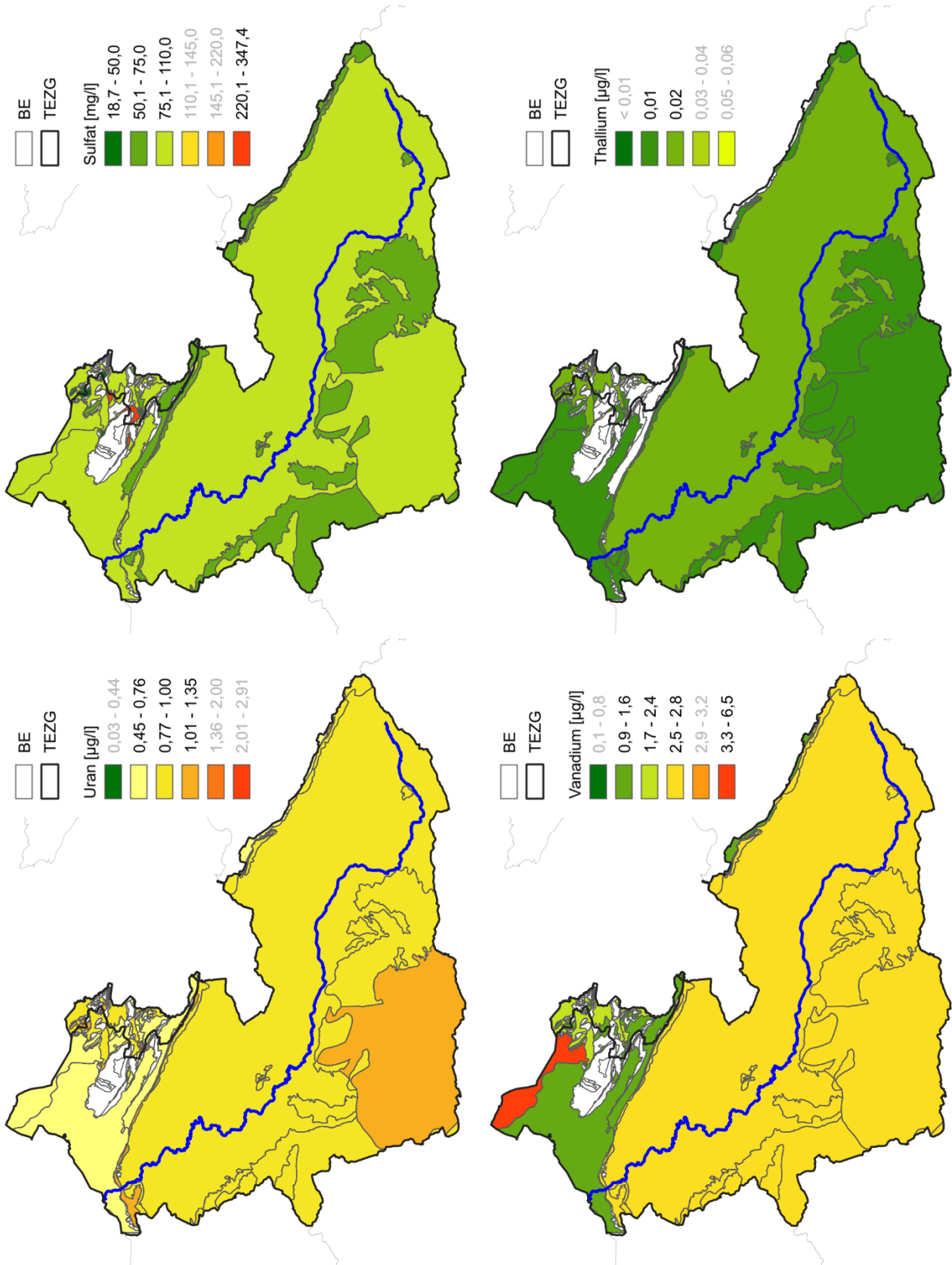


Abb. 30-8: HGW_{ges} für Sulfat, Thallium, Uran und Vanadium in den BE der TEZG Obere Ems und Hase

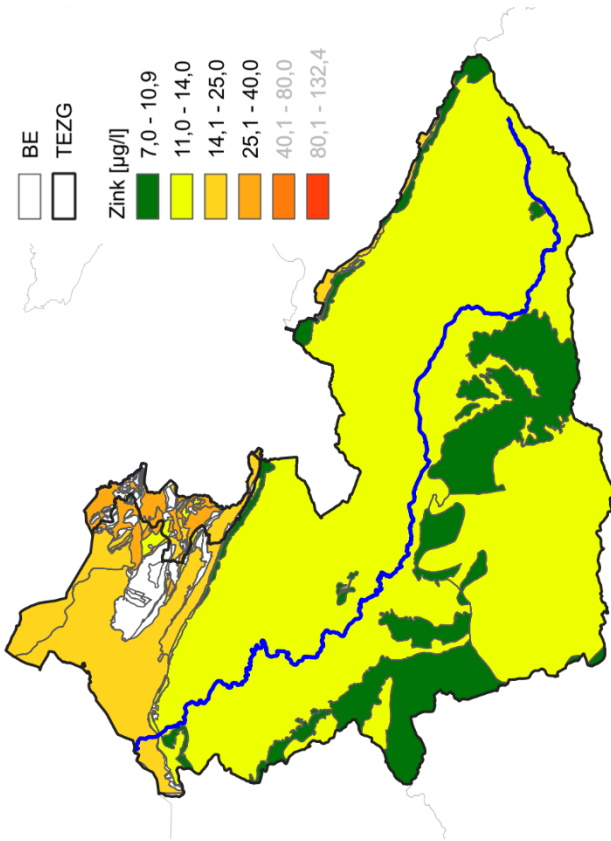


Abb. 30-9: HGW_{ges} für Zink in den BE der TEZG Obere Ems und Hase

Teil C – Zusammenfassung

31 Hintergrundwerte der Fließwasserkörper

Aus den ermittelten Hintergrundwerten (HGW) der Bewertungseinheiten (BE) werden mittels flächengewichteter Berechnungen HGW für die Fließwasserkörper (FWK) bestimmt (vgl. Kap. 11). Da nicht überall eine ausreichende Datengrundlage für eine erfolgreiche Auswertung vorlag, liegen nicht in allen BE für alle Untersuchungsparameter Ergebnisse vor. Zugleich sind die FWK nicht an die Grenzen der BE gebunden und können über mehrere BE hinweg reichen. Dementsprechend können sie sowohl BE erfassen, in denen ein HGW für einen der Untersuchungsparameter ermittelt wurde als auch BE, in denen kein Ergebnis vorliegt. Wurden für weniger als $\frac{2}{3}$ der FWK-Fläche Ergebnisse bestimmt, wird der für den FWK errechnete Wert als nicht repräsentativ eingestuft und verworfen („Flächenkriterium“). Liegt der ausgewertete Flächenanteil über dem gesetzten Kriterium, wird der errechnete Wert als HGW für den FWK angenommen. Ob HGW für einen FWK vorliegen, kann somit von Parameter zu Parameter variieren.

In den folgenden Übersichtskarten werden parameterspezifisch die errechneten HGW (Gesamtgehalte) der FWK dargestellt (die zugrunde liegenden FWK basieren auf der Gewässerstationierungskarte 3E; GSK3E). Eine tabellarische Zusammenstellung aller FWK-HGW, die das Flächenkriterium erfüllen, erfolgt im Anhang unter Kapitel 35.10.

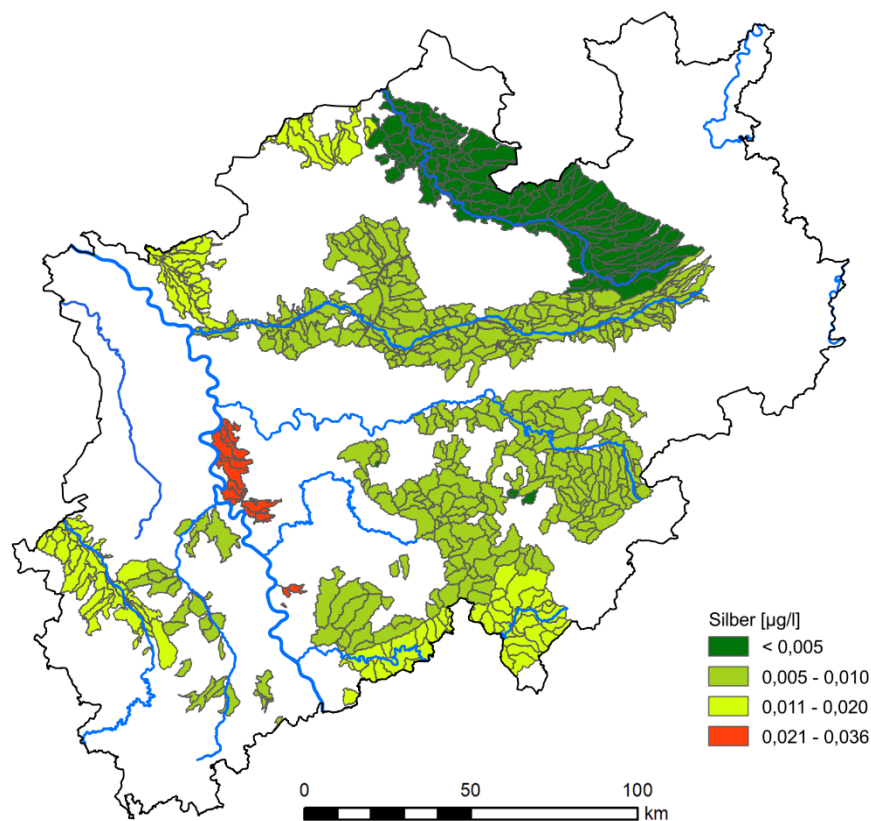


Abb. 31-1: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Silber in den FWK

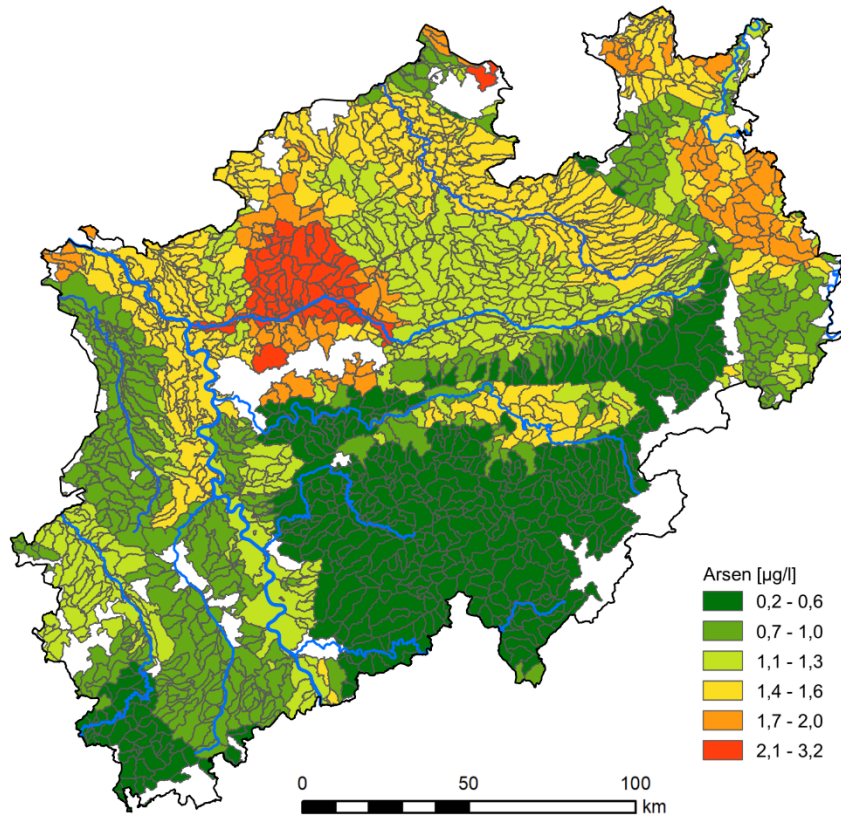


Abb. 31-2: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Arsen in den FWK

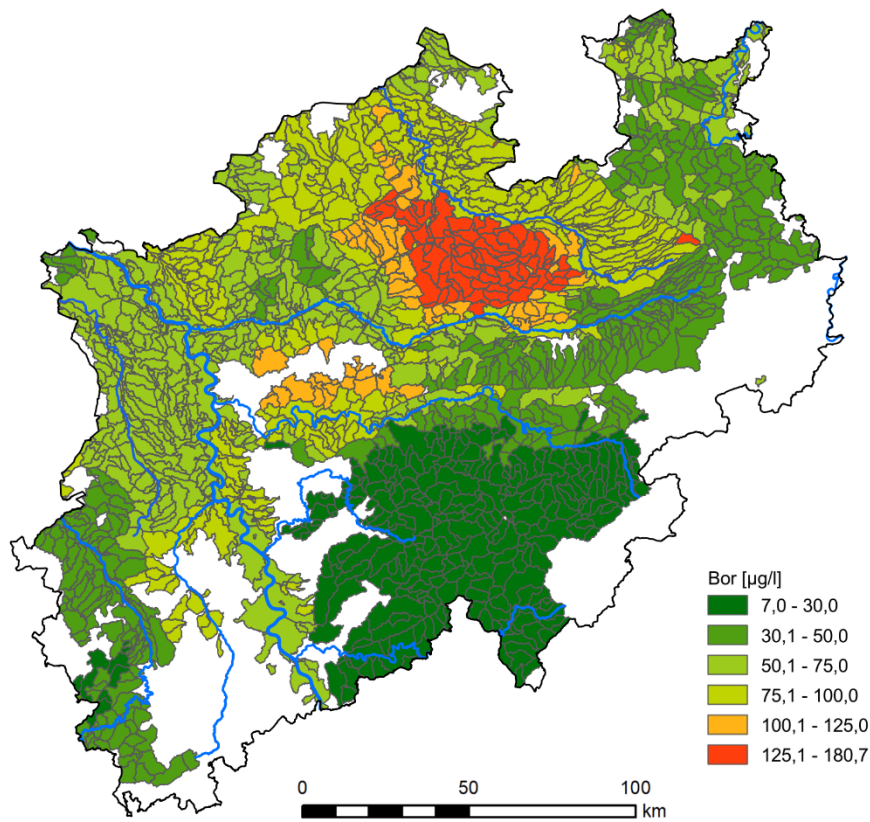


Abb. 31-3: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Bor in den FWK

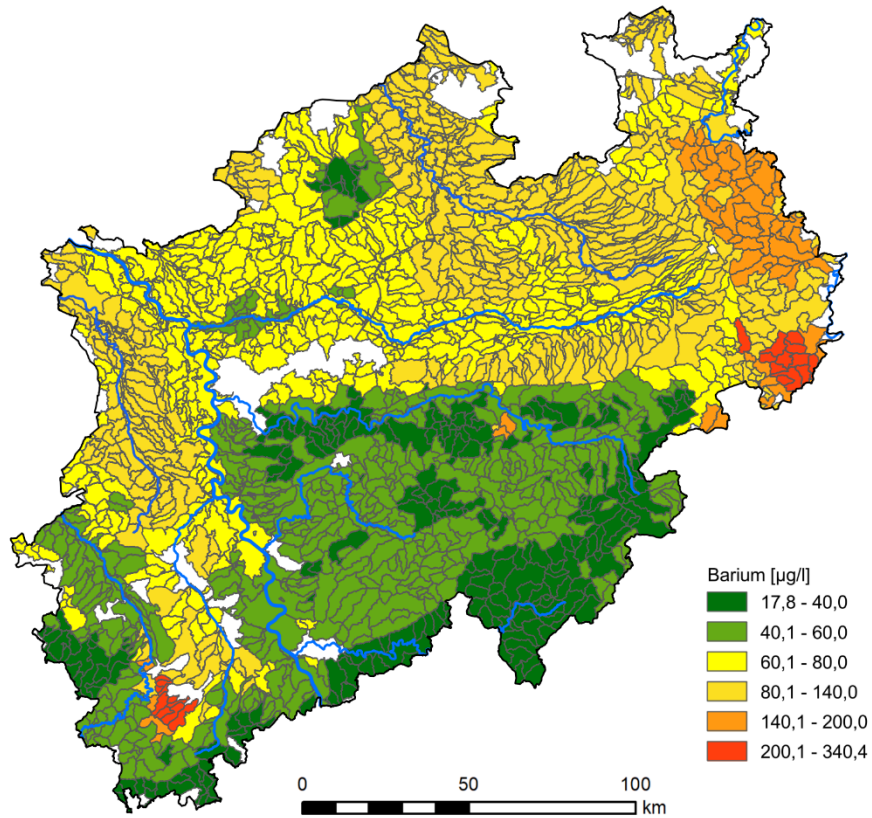


Abb. 31-4: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Barium in den FWK

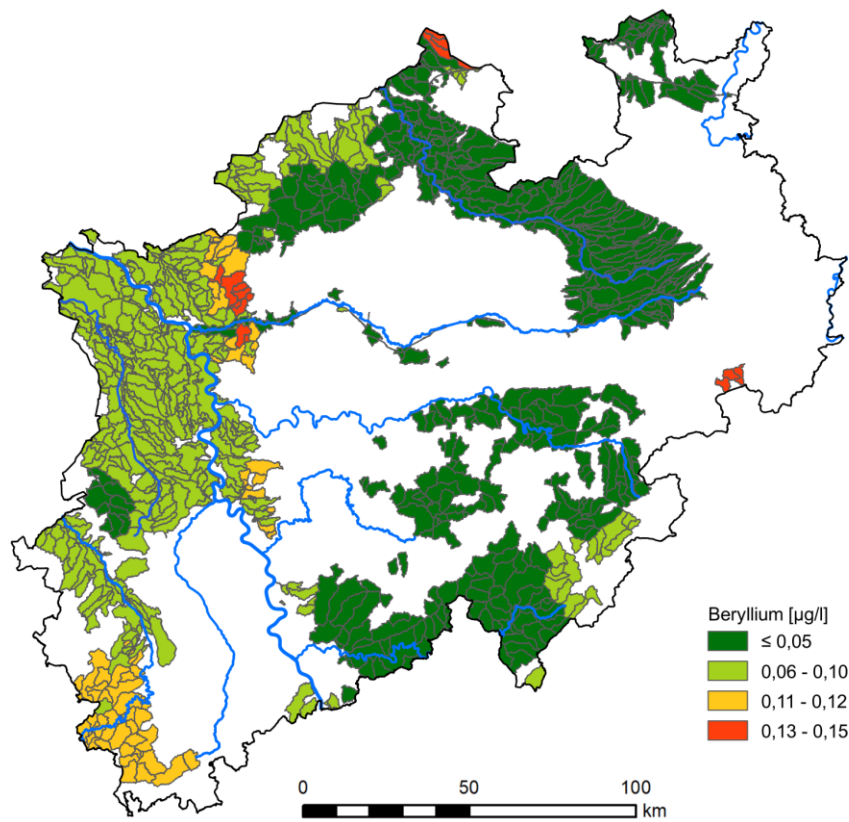


Abb. 31-5: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Beryllium in den FWK

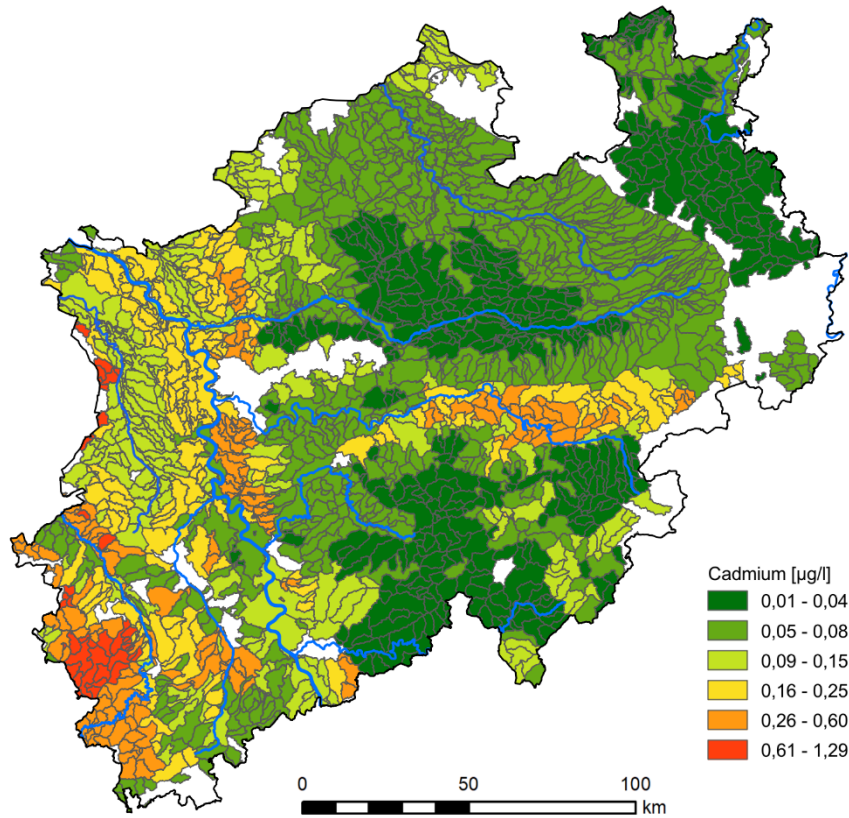


Abb. 31-6: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Cadmium in den FWK

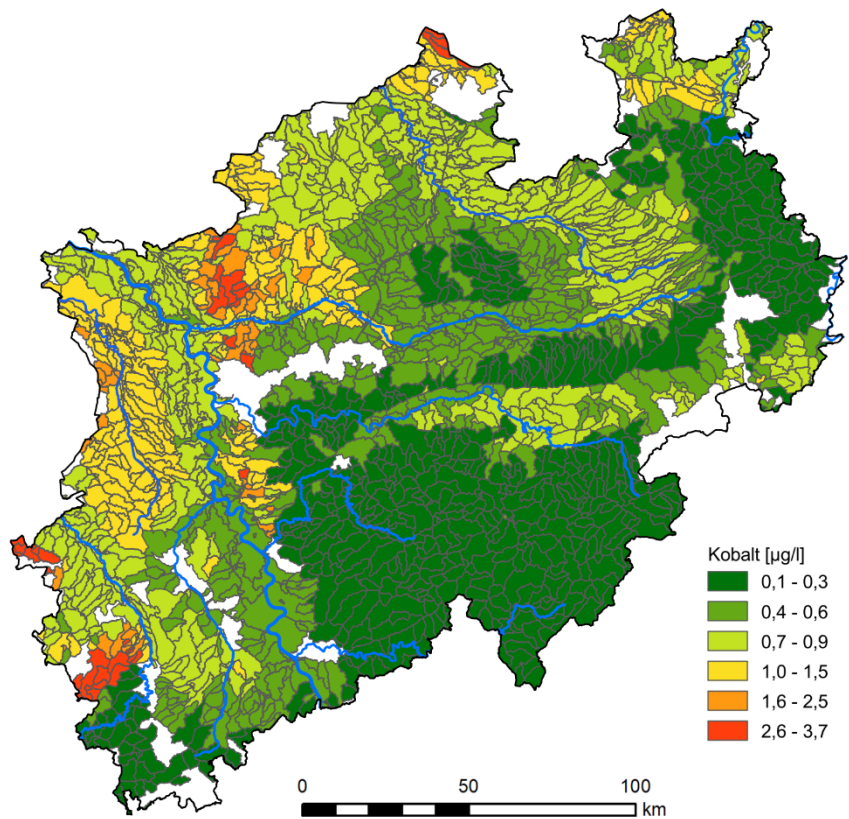


Abb. 31-7: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Kobalt in den FWK

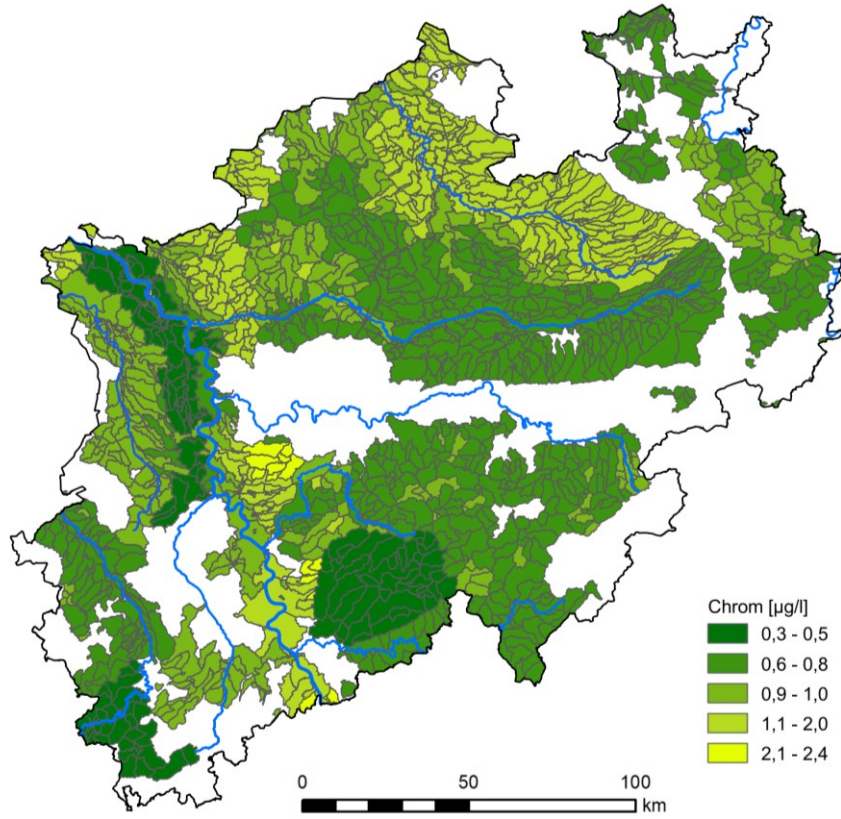


Abb. 31-8: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Chrom in den FWK

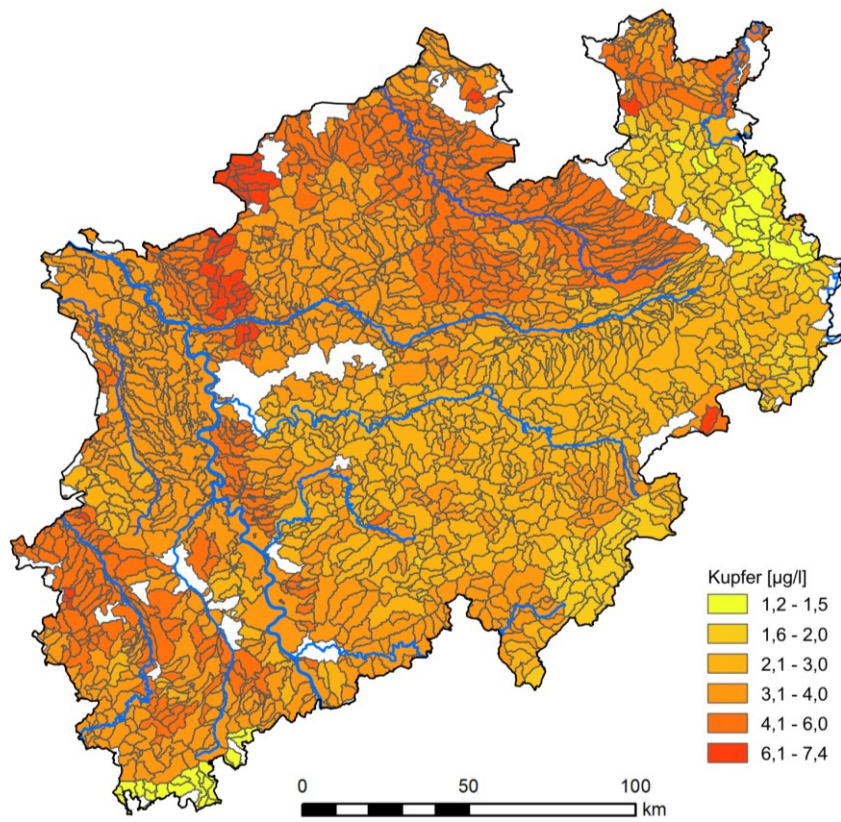


Abb. 31-9: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Kupfer in den FWK

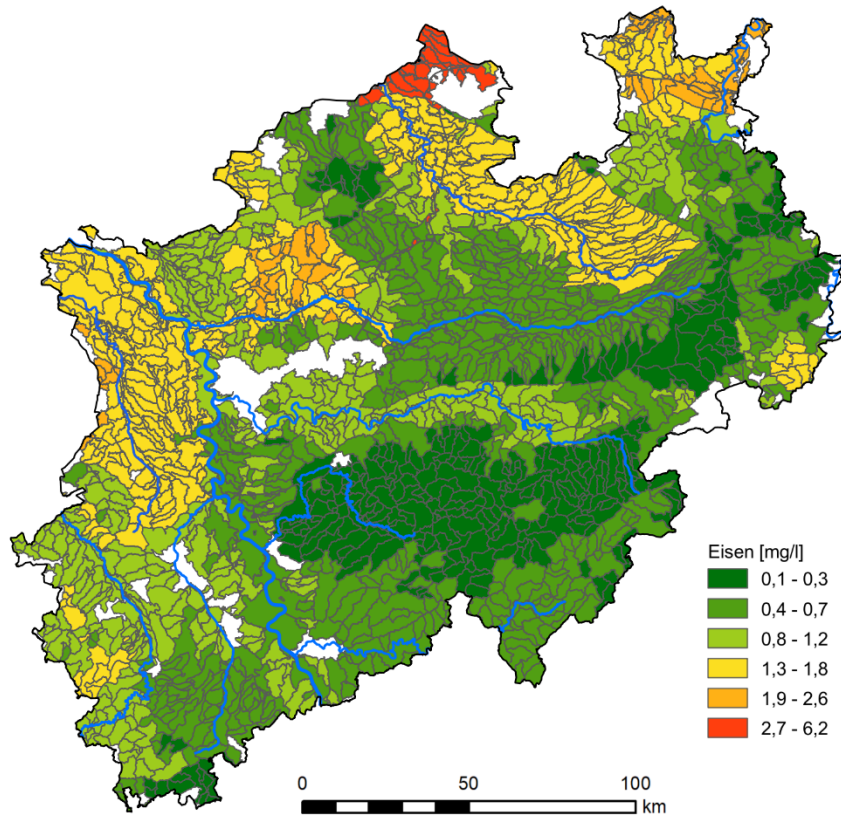


Abb. 31-10: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Eisen in den FWK

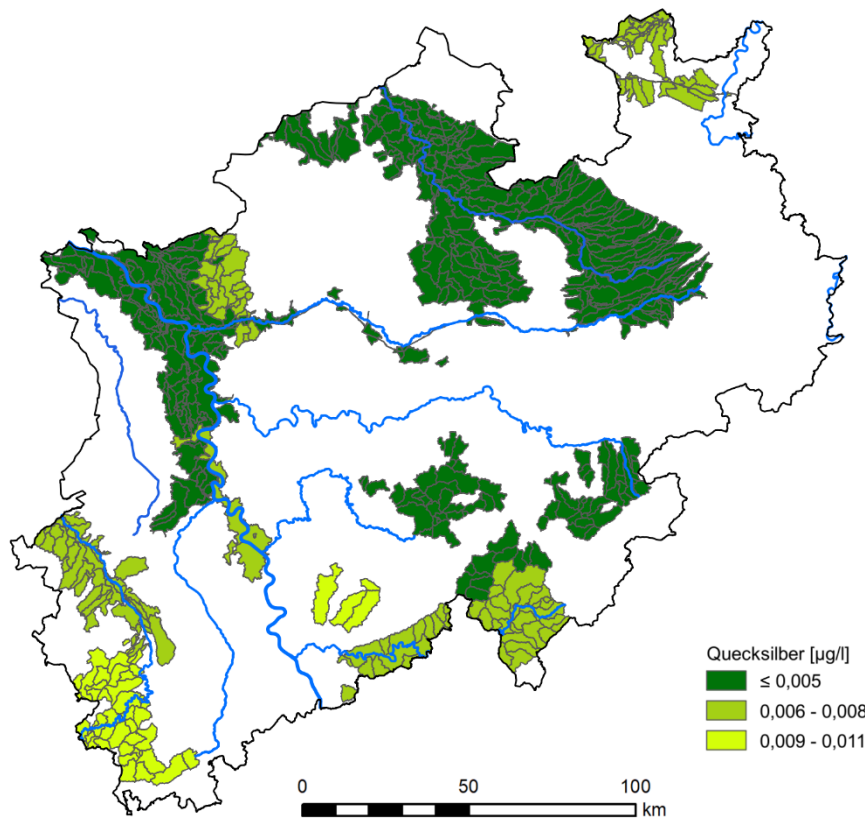


Abb. 31-11: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Quecksilber in den FWK

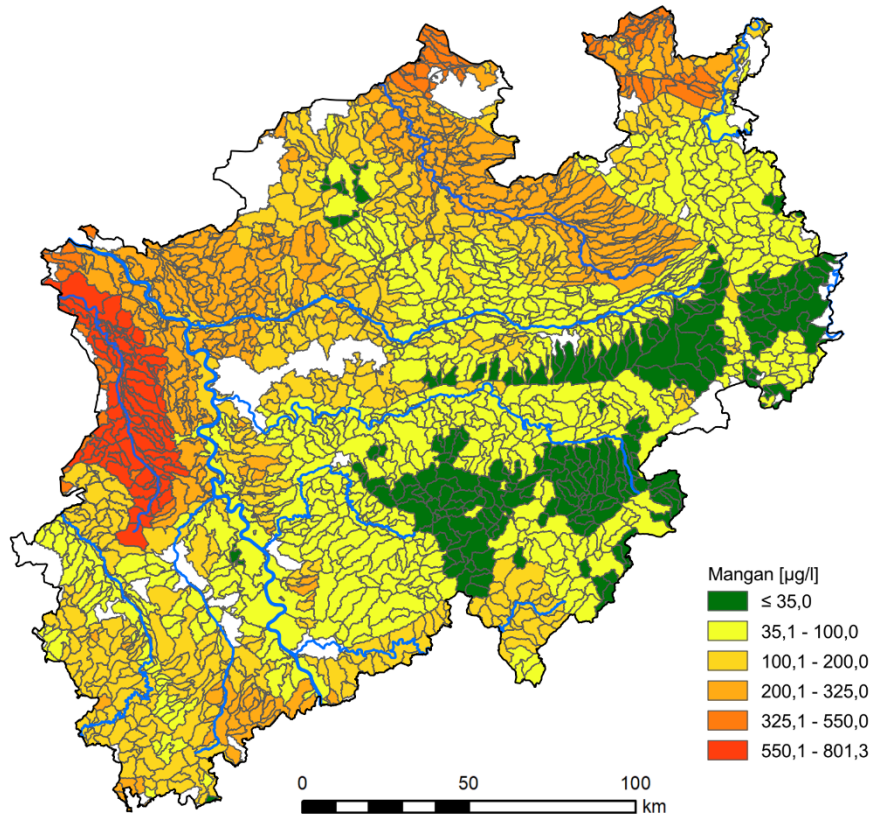


Abb. 31-12: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Mangan in den FWK

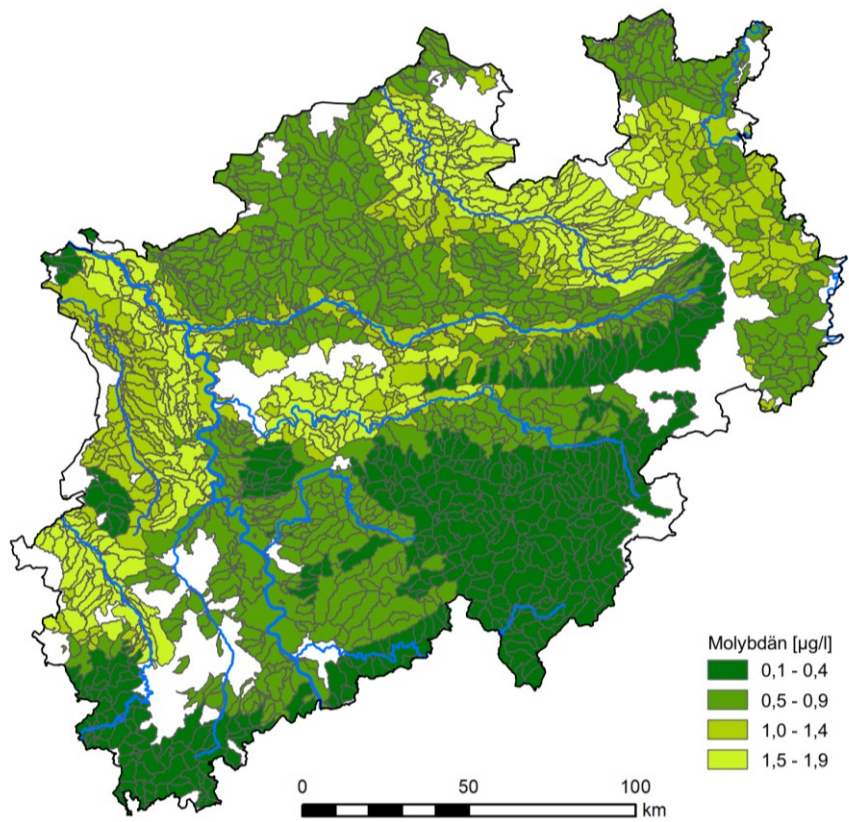


Abb. 31-13: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Molybdän in den FWK

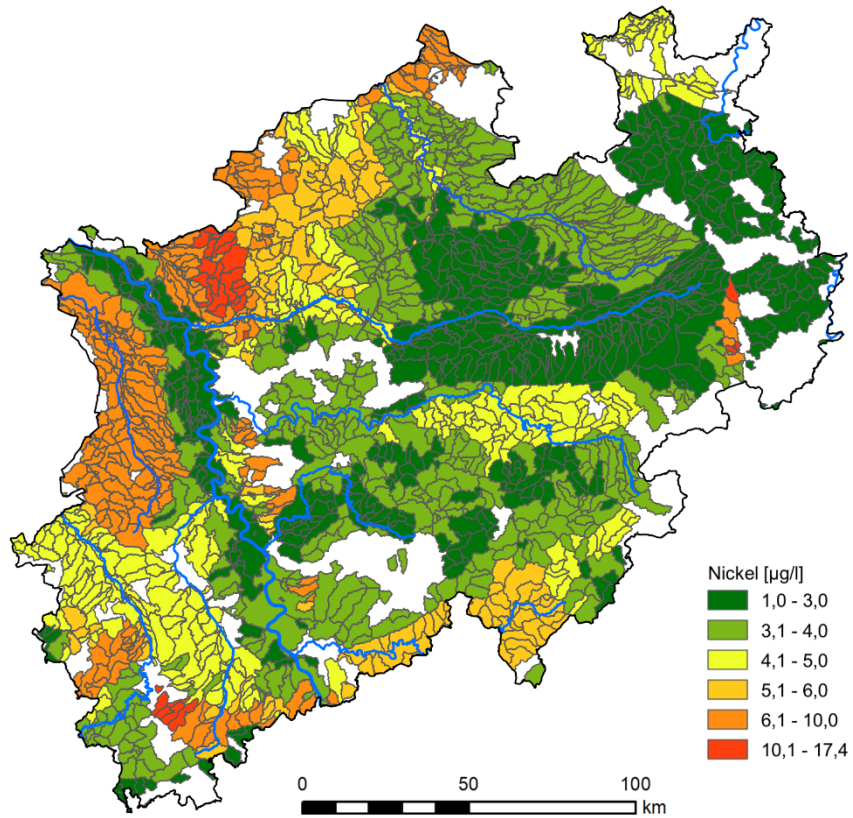


Abb. 31-14: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Nickel in den FWK

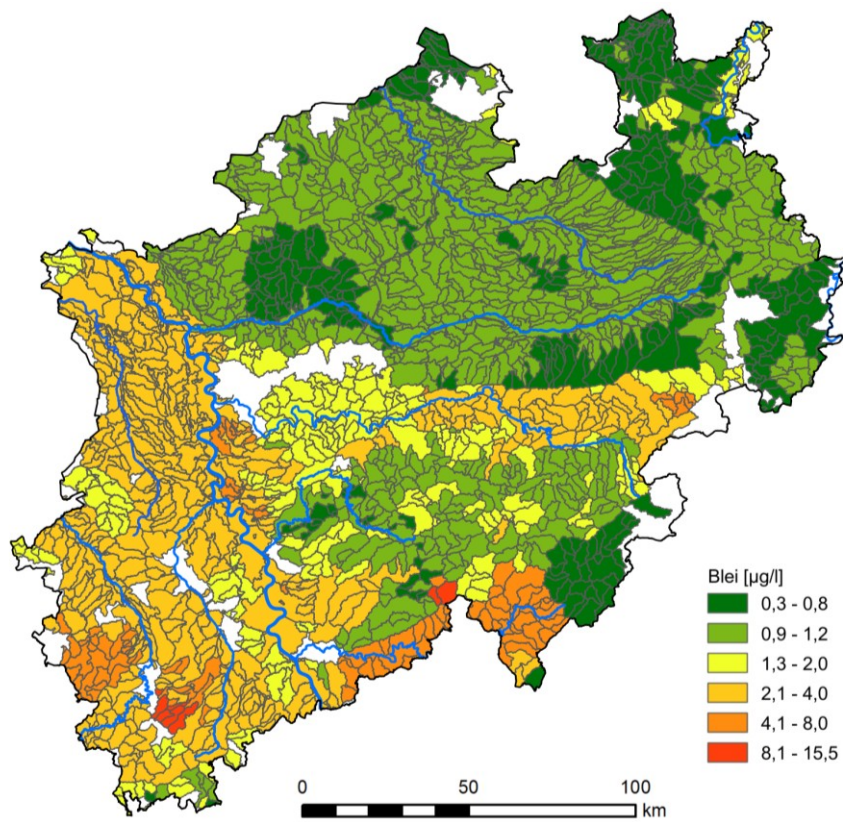


Abb. 31-15: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Blei in den FWK

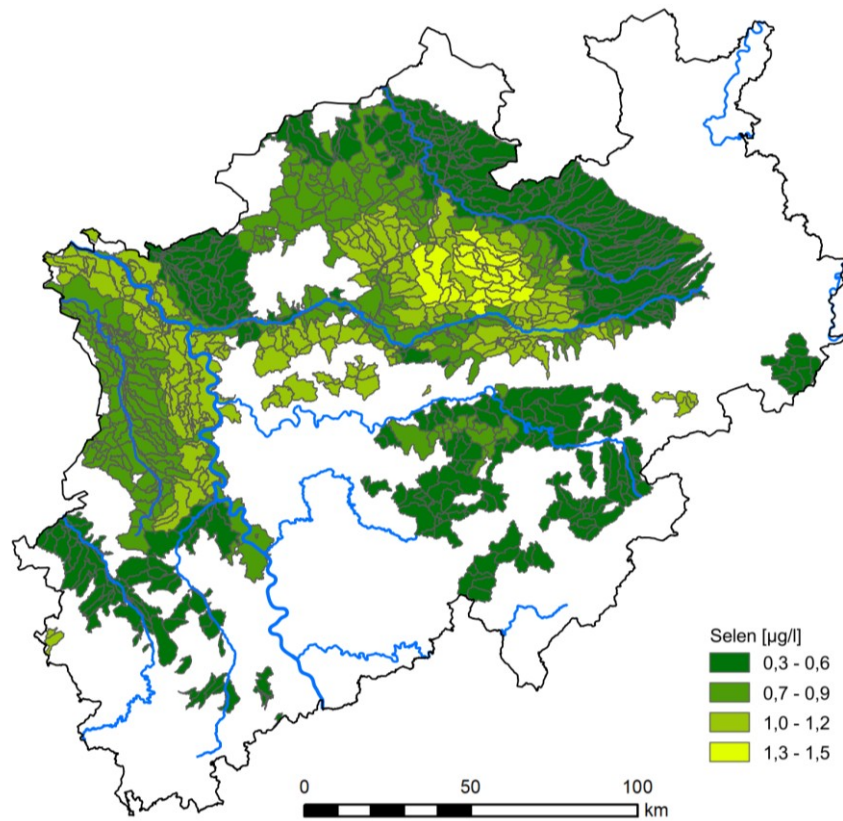


Abb. 31-16: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Selen in den FWK

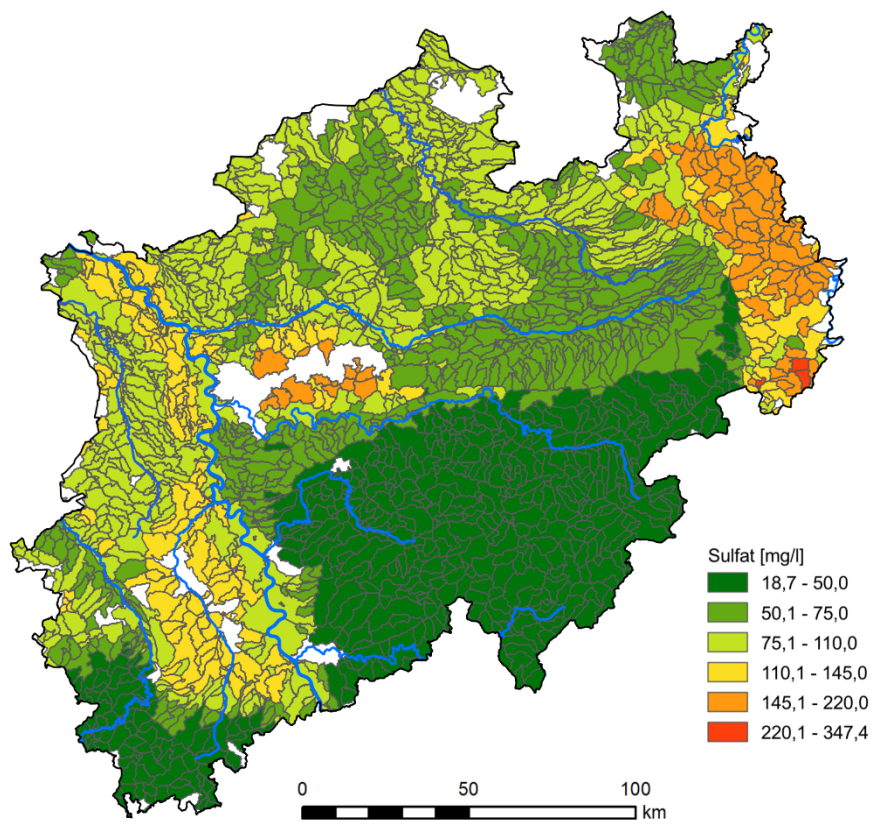


Abb. 31-17: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Sulfat in den FWK

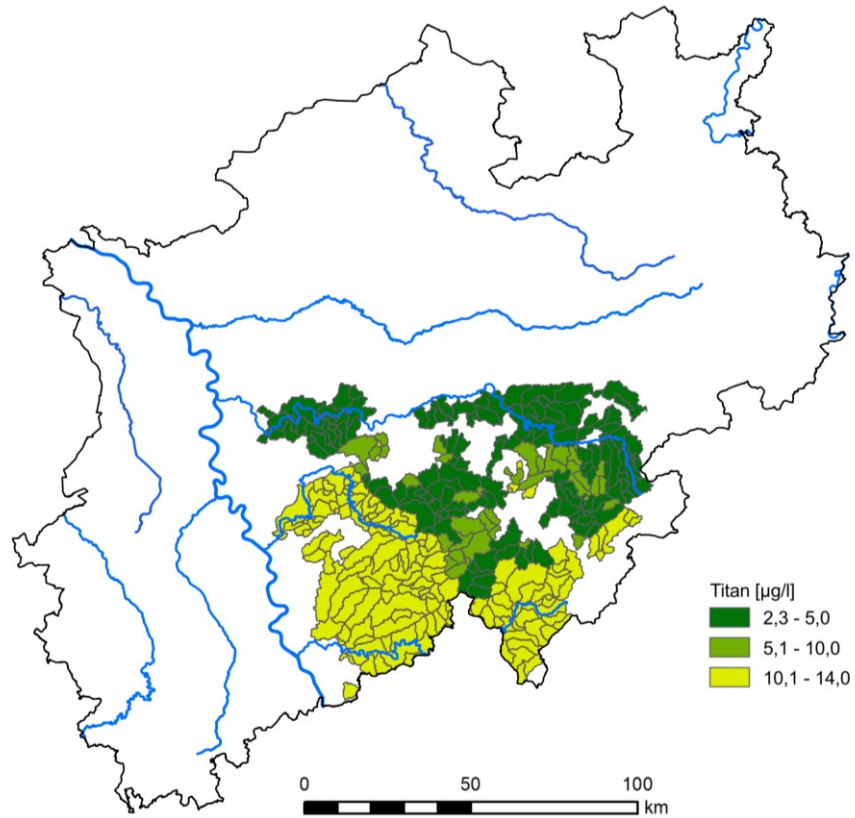


Abb. 31-18: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Titan in den FWK

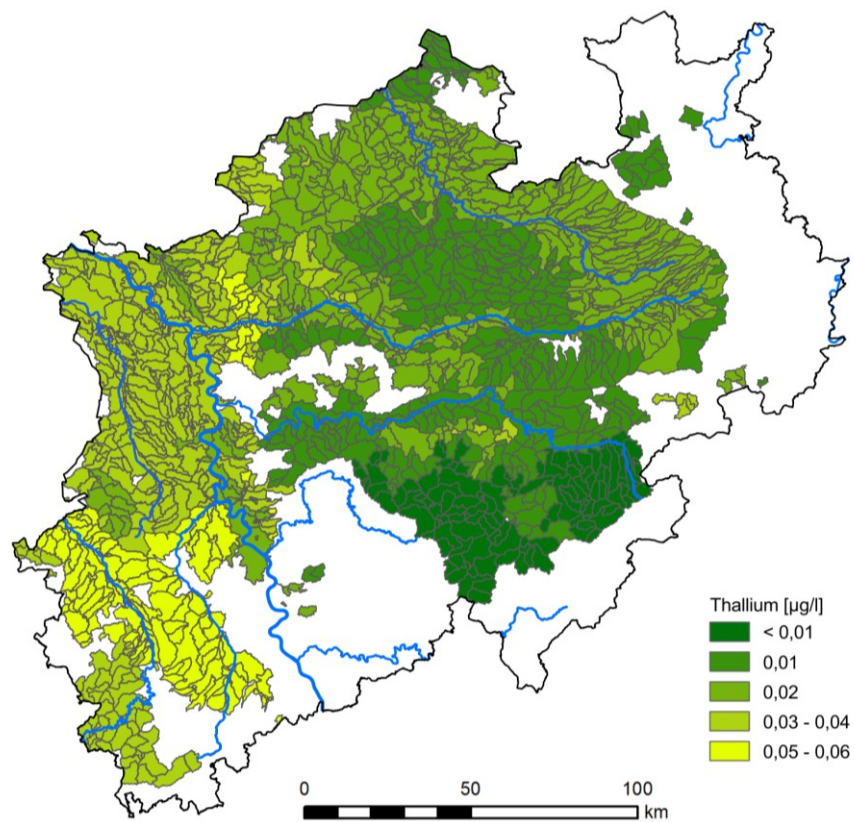


Abb. 31-19: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Thallium in den FWK

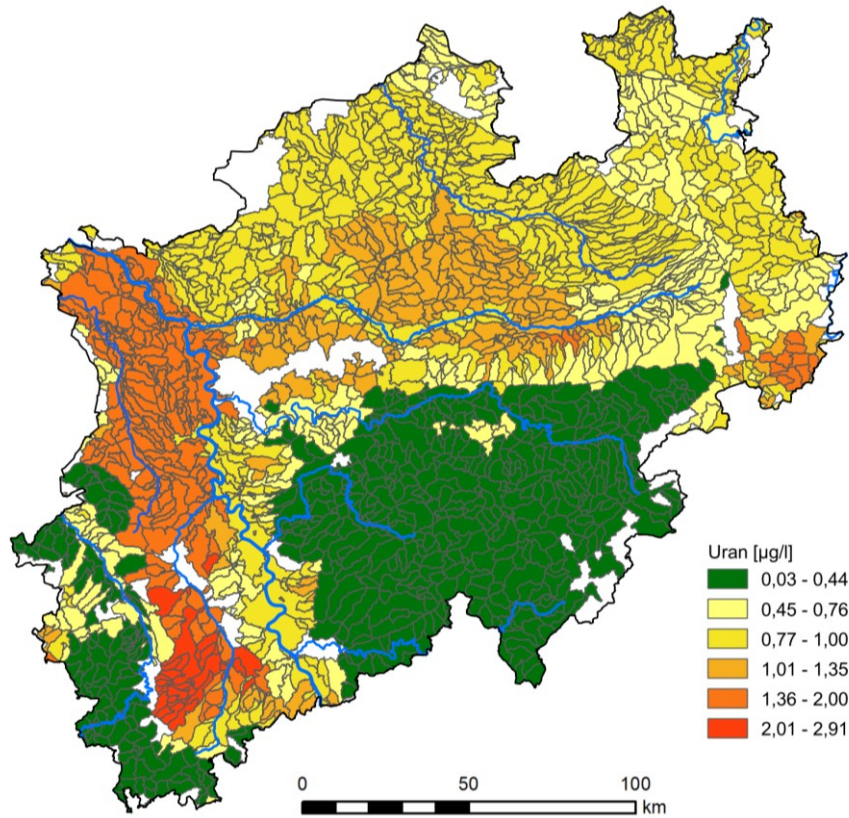


Abb. 31-20: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Uran in den FWK

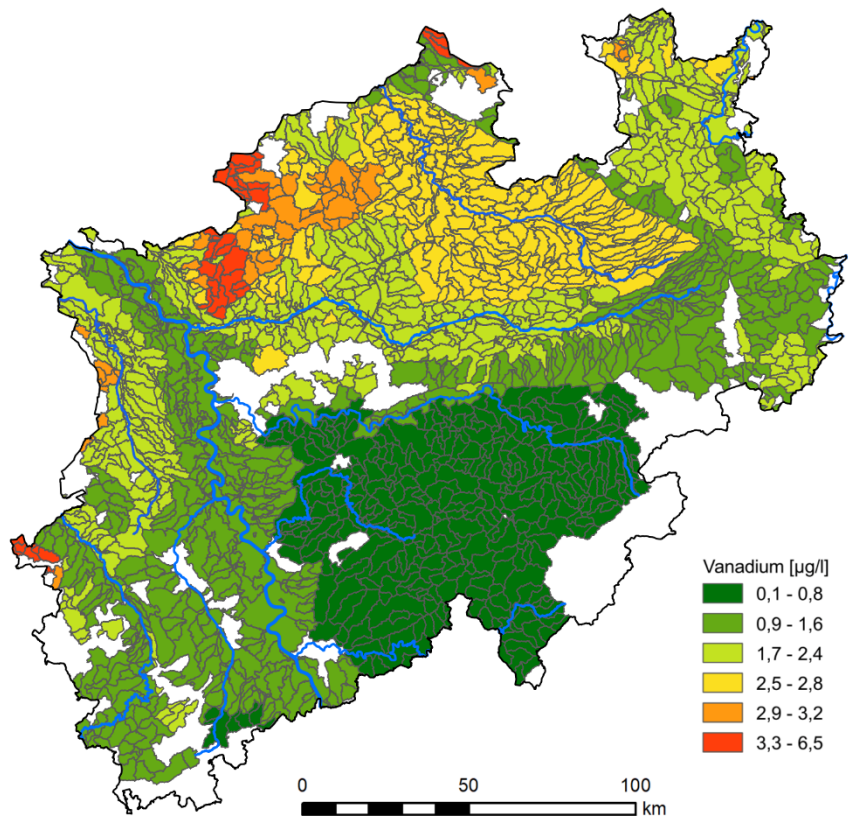


Abb. 31-21: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Vanadium in den FWK

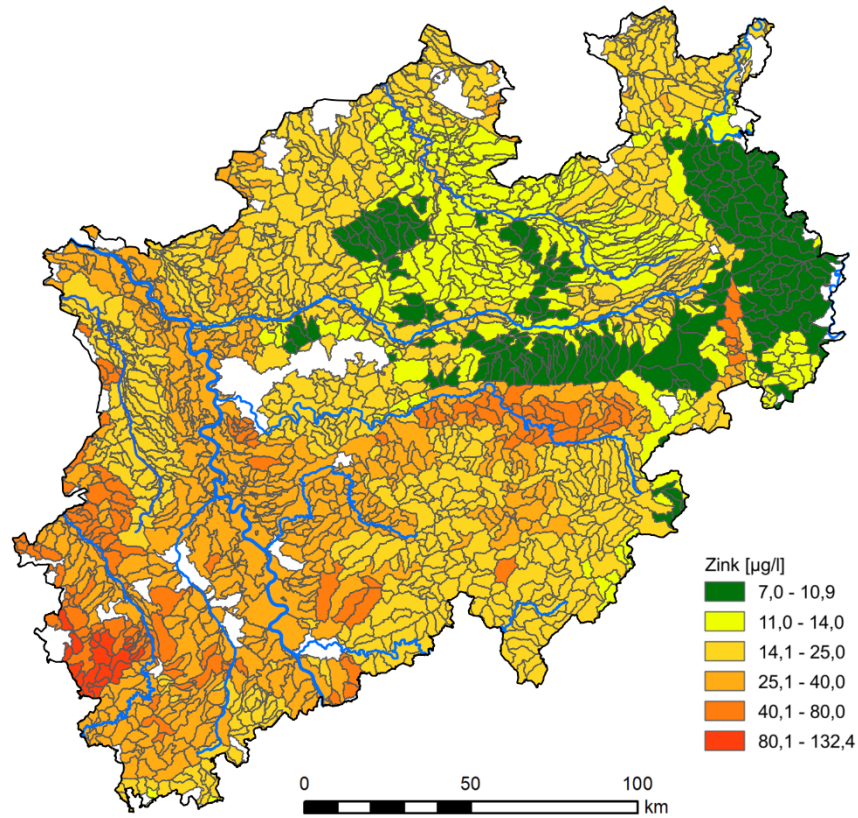


Abb. 31-22: Übersichtskarte NRW – HGW_{ges} für Zink in den FWK

32 Zusammenfassung

Eines der Umweltziele der Europäischen Richtlinie 2000/60/EG (EU-Wasserrahmenrichtlinie; WRRL) ist es, bei Oberflächengewässern spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten der Richtlinie (vorbehaltlich etwaiger Verlängerungen oder Ausnahmeregelungen gemäß Artikel 4, Absatz 4 und 5) einen guten Zustand zu erreichen. Gemäß den Ergänzungen der WRRL durch die Richtlinien 2008/105/EG und 2013/39/EU können bei der Zustandsbewertung die Auswirkungen natürlicher Hintergrundkonzentrationen berücksichtigt werden.

Im Jahr 2016 wurde der Geologische Dienst NRW (GD NRW) erstmals durch das nordrhein-westfälische Umweltministerium (damals MKULNV NRW) mit der Ermittlung von Hintergrundwerten (HGW) in Oberflächengewässern NRWs beauftragt. Die zu untersuchende Stoffpalette setzte sich aus insgesamt 19 Parametern zusammen (Arsen, Bor, Barium, Beryllium, Blei, Cadmium, Chrom, Eisen, Kobalt, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Selen, Silber, Sulfat, Thallium, Uran, Vanadium, Zink). Ziel war es, für definierte Bereiche, d. h. für Fließwasserkörper (FWK), in denen im dritten Monitoringzyklus (Stand 04.10.2016) kein guter Zustand für den jeweiligen Parameter vorlag, HGW in der Wasserphase zu ermitteln. Das Projekt wurde im Jahr 2019 erfolgreich abgeschlossen. Da sich in den folgenden Bestandsaufnahmen weitere FWK auffällig zeigten, wurde der GD NRW im Dezember 2023 erneut durch das Umweltministerium (nun MUNV NRW) mit der Ermittlung von HGW für die Oberflächengewässer NRWs beauftragt. Im Rahmen des Folgeprojektes sollten die Auswertungen der bereits betrachteten (19) Parameter weitergeführt und nun möglichst flächendeckend für NRW HGW bestimmt werden. Zudem wurde die Stoffpalette um drei Parameter (Mangan, Molybdän, Titan) erweitert. Auch hier war das Ziel, soweit möglich landesweit HGW zu ermitteln. Da das methodische Vorgehen und die Auswertungen des Erst- und Folgeprojektes unmittelbar ineinandergreifen, werden in dem vorliegenden Bericht die Ergebnisse und Erkenntnisse im Ganzen, also als ein Projektvorhaben, behandelt.

Im Zusammenhang mit der Ermittlung von HGW in Oberflächengewässern bestehen bislang keine rechtlich bindenden und einheitlichen Vorgaben. Um eine geeignete und praktikable Methodik zu entwickeln, wurde im Rahmen des Erstprojektes eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Bei der Auswahl des Verfahrens und Ausarbeitung der Vorgehensweise waren zugleich Festlegungen aus der Technischen Anleitung (TA) des LAWA-AO (2015) zu berücksichtigen.

Datenbasis

Als Eingangsdaten für die Ermittlung der HGW waren **Gütedaten aus dem Gewässermonitoring** (GÜS-DB; LANUV) zu verwenden (LAWA-AO 2015). Ergänzend wurden unter anderem Gewässerdaten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Geochemischen Atlanten 1985, 2006) und der sondergesetzlichen Wasserverbände sowie Wasseranalysen aus Quellen akquiriert. Die Datensätze wurden bereinigt, homogenisiert und aufbereitet in eine Projektdatenbank eingepflegt. Insgesamt konnten im Erstprojekt rund 1,24 Mio. Einzelanalysen (Gesamtgehalte) zusammengestellt werden. In einem anlässlich des Erstprojektes eigens aufgelegten **Beprobungsprogramm** wurden zudem 382 Messstellen (davon 119 neu angelegt) zusätzlich durch das damalige LANUV beprobt und mit Blick auf

die projektspezifischen Untersuchungsparameter analysiert. Im Rahmen des Folgeprojektes wurde die Projektdatenbank mit etwa 186.000 Analysen um die neu hinzugekommenen Parameter (Mangan, Molybdän, Titan) ergänzt.

Datenselektion

Nicht alle akquirierten Datensätze sind uneingeschränkt für die Ermittlung von HGW geeignet. Aus diesem Grund wurden verschiedene Präselektionskriterien entwickelt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und Praktikabilität geprüft. Ziel war hierbei die Identifizierung anthropogen beeinflusster Datensätze mithilfe definierter Kriterien, um darüber eine erste Trennung der natürlichen von anthropogen überprägten Messwerten vorzunehmen. Gleichzeitig musste ein zu umfassender und unter Umständen unzutreffender Datenausschluss im Voraus vermieden werden, um die Datenbasis nicht unnötig zu reduzieren. Schlussendlich fanden **acht Selektionskriterien** Anwendung, anhand derer die Eingangsdaten sukzessiv bereinigt wurden. Dabei wurden Faktoren wie die Besiedlung, der Verbau der Gewässer, allgemeine physikalisch-chemische Parameter (ACP), die Beurteilungswerte der Untersuchungsparameter (Umweltqualitätsnormen bzw. Orientierungswerte), Abwasseranteil und signifikante Belastungsursachen (DPSIR) berücksichtigt.

Bewertungseinheiten

Ziel des Projektes war, HGW für die einzelnen FWK anzugeben. Daher wäre auch eine wasserkörperscharfe Ermittlung der Werte naheliegend. Allerdings ist nicht jeder FWK für die Ermittlung eines HGW geeignet (z. B. künstliche Wasserkörper) und zugleich ließen die Datendichte und -verteilung in weiten Teilen NRW keine Auswertung einzelner FWK zu. Aus diesem Grund erfolgte die Auswertung repräsentativ durch Zusammenfassung ähnlicher geologischer Einheiten, innerhalb derer von einem einheitlichen geochemischen Hintergrund ausgegangen werden kann. Bereits im Rahmen der bundesweiten HGW-Ermittlung im Grundwasser wurden aus der HÜK 200 sogenannte **Hydrogeochemische Einheiten** (HGC) abgeleitet und erfolgreich angewendet (PK HGW 2014). Die HGC-Geometrien bilden ebenfalls die Grundlage für das vorliegende Projektvorhaben. Sie wurden zusätzlich entlang der **Teileinzugsgebietsgrenzen** aufgesplittet. Die daraus entstandenen Bewertungseinheiten (BE) kombinieren somit geochemische als auch hydrologische Kriterien. Die erarbeiteten BE wurden im Zuge der Auswertungen in Einzelfällen fachlich begründet weiter differenziert. Insgesamt ergaben sich rund 300 BE in NRW.

Auswerteverfahren

Im Rahmen der umfangreichen Literaturrecherche des Erstprojektes konnten verschiedene Verfahren zusammengestellt werden, die grundsätzlich für eine HGW-Ermittlung geeignet sind. Nach Eingrenzung auf drei statistische Verfahren (SCHLEYER & KERNDORFF 1992, Komponentenseparation, Wahrscheinlichkeitsnetze) wurden die Vor- und Nachteile der Methoden evaluiert. Unter Berücksichtigung der Anwendbarkeit, Flexibilität und Transparenz wurde das Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze für das Projektvorhaben ausgewählt.

Das **Verfahren der Wahrscheinlichkeitsnetze** wurde zunächst durch LEPELTIER (1969) aufgegriffen und durch WALTER (2008) im Zusammenhang mit der Ermittlung von HGW im Grundwasser weiterentwickelt. Es handelt sich um ein einfaches graphisches Verfahren, das auf der Verteilung einer Zufallsvariablen aufbaut, in unserem Fall den gemessenen Konzentrationen im Oberflächenwasser. Das Prinzip fußt auf der Tatsache, dass Messwerte, die einer gemeinsamen Population angehören, einem einheitlichen Verteilungsgesetz folgen. Durch die Darstellung im Wahrscheinlichkeitsnetz werden entsprechend zusammengehörige Datenkollektive auf einer Geraden abgebildet. Das heißt: Konzentrationen, die einem einheitlichen geochemischen Hintergrund angehören, bilden im Wahrscheinlichkeitsnetz ebenfalls einen Geradenverlauf aus. Werden innerhalb des betrachteten Konzentrationsspektrums verschiedene Teilpopulationen von Messwerten erfasst, z. B. durch anthropogen beeinflusste Analyseergebnisse oder durch erhöhte Konzentrationen infolge von Erzvorkommen, werden diese im Wahrscheinlichkeitsnetz durch Teilgeraden verschiedener Steigung erkennbar. Mittels Detailbetrachtungen im GIS und unterstützenden Randdaten kann die Normalpopulation – das Konzentrationsspektrum, welches den natürlichen Hintergrund repräsentiert – identifiziert und separiert werden. Der HGW wird gemäß LAWA-AO (2015) als 90. Perzentil der Normalpopulation festgesetzt.

Randdaten und Plausibilisierung

Für die korrekte Beurteilung der Eingangsdaten und Populationen im Wahrscheinlichkeitsnetz wurden verschiedene Randdaten verwendet. Darunter fallen sowohl **anthropogene Beeinflussungen**, wie z. B. Abwasser- und Stolleneinleitungen, Bergbau, Deponien, Abgrabungen oder auch die Landnutzung, als auch **natürliche Faktoren**, z. B. Gestein oder Erzlagerstätten. Zugleich wurden bekannte Konzentrationen sowie HGW in Grundwasser, Gestein und Boden für die Plausibilisierung der HGW in den BE der Oberflächengewässer genutzt. Dabei war zu berücksichtigen, dass infolge unterschiedlicher Skalierungen Abweichungen vorliegen können.

Festlegung wasserkörperscharfer Hintergrundwerte

Für die Berücksichtigung von HGW in der Gewässerbeurteilung sind wasserkörperscharfe HGW erforderlich. Hierzu wurden die HGW der FWK aus den ermittelten HGW der BE errechnet. Diese gehen entsprechend ihres jeweiligen Flächenanteils am FWK gewichtet in die Berechnung ein. Auf diese Weise können wasserkörperscharfe HGW ausgewiesen werden.

Ergebnisse/Fazit

Basierend auf der entwickelten Methodik konnten auf Basis der BE richtlinienkonform repräsentative HGW ermittelt werden. Die ermittelten HGW bestätigen den engen Zusammenhang zwischen den geologischen Verhältnissen sowie der natürlichen Gewässerchemie in den Oberflächengewässern und lassen somit eine Identifizierung natürlich erhöhter Stoffkonzentrationen zu. Es ist zu berücksichtigen, dass unter der vorliegenden Datenverteilung keine flächendeckende Erfassung von HGW aller Oberflächengewässer NRW möglich war. Maßstabsbedingt konnten lokale geogene Anomalien nicht in jedem Fall ausreichend erfasst werden.

33 Fazit und Ausblick

Mithilfe der bereits im Rahmen des Erstprojektes entwickelten Methodik war es möglich, HGW entsprechend den Vorgaben der TA des LAWA-AO (2015) und der OGewV (2016) in Oberflächengewässern zu ermitteln. Das wichtigste Ziel des Projektes wurde somit erreicht. Das Projektvorhaben war auf die Untersuchung der Wasserphase ausgerichtet. Vergleichbare Auswertungen für Gesamt-NRW sind dem Projektnehmer bisher nicht bekannt.

Im Zuge der Projektbearbeitung ergaben sich diverse Aspekte von wissenschaftlichem Interesse, denen aber im Rahmen des Projektes nicht nachgegangen werden konnte. So festigte sich z. B. bei den Detailauswertungen die (nicht neue) Erkenntnis, dass die natürliche Hintergrundkonzentration eines Gewässers grundsätzlich keine fixe Größe ist. Es handelt sich vielmehr um eine Konzentrationsverteilung, deren Spanne sich abhängig von den (meist saisonalen) Umwelteinflüssen – wie z. B. Abflussgeschehen, Schwebstoffanteil, Temperatur, pH-Wert – verändern kann. Doch nicht nur der zeitliche, sondern auch der räumliche Aspekt beeinflusst die Verteilung. So bestätigte sich, dass die Hintergrundkonzentration auch innerhalb gleicher geologischer Verhältnisse mit dem Gewässerverlauf, in Abhängigkeit von der Abflussmenge und der Herkunft der Abflussbilanzglieder (Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss, grundwasserbürtiger Zufluss), variieren kann. Dennoch wird mit dem HGW ein Einzelwert festgelegt, der (parameterspezifisch) stellvertretend für die natürlichen Konzentrationen in einem FWK steht. Dabei wird das 90. Perzentil der natürlichen Konzentrationsverteilung als HGW angenommen (LAWA-AO 2015).

Die Auswertungen der Gewässergütedaten erfolgten in geochemisch möglichst homogenen Gebieten, den sogenannten Bewertungseinheiten (BE). Die ermittelten HGW sind dementsprechend als repräsentativ für diese Bereiche anzusehen. Werden neu angelegte Messstellen oder solche, die nicht im Projekt-Datensatz enthalten waren, dem abgeleiteten HGW gegenübergestellt, kann es dennoch zu Abweichungen kommen. So liegen bereits per definitionem die oberen 10 % der natürlichen Konzentrationsverteilung über dem festgesetzten HGW.

Durch die Abgrenzung der BE konnte im Rahmen des Projektvorhabens eine deutlich höhere Auflösung und damit eine verbesserte Aussagegenauigkeit für HGW in Oberflächengewässern als in vorherigen Ausarbeitungen, die beispielsweise auf der Ebene von Planungseinheiten durchgeführt wurden (C&E 2011), erreicht werden. Dennoch stellt auch hier der Bearbeitungsmaßstab einen limitierenden Faktor dar, der zu berücksichtigen ist. Trotz der Annahme eines einheitlichen geogenen Hintergrundes innerhalb der BE kann nicht ausgeschlossen werden, dass kleinräumige geogene Konzentrationserhöhungen vorliegen (die einzelne FWK z. B. in Form von lokalen Vererzungen oder Moorstandorten betreffen), welche unter dem Bearbeitungsmaßstab nicht angemessen erfasst wurden. Ob und in welcher Genauigkeit solche geogenen Anomalien im Wahrscheinlichkeitsnetz abgebildet werden konnten, ist dabei unmittelbar an die Lage und Anzahl der vorhandenen Messstellen gebunden. Einzelne Messstellen, die keine erkennbare anthropogene Belastung aufzeigen, sich im Wahrscheinlichkeitsnetz aber von der Normalpopulation abheben, können auf entsprechende Bereiche hinweisen. Das heißt, sofern eine natürliche Anomalie, die nicht durch anthropogene Einträge überprägt wurde, in dem vorliegenden

Datenkollektiv erfasst wird, kann diese in der Regel auch im Wahrscheinlichkeitsnetz identifiziert werden.

Für die Bearbeitung des Erst- und des Folgeprojektes wurde ein umfassender Datensatz aus Gütedaten der Fließgewässer und Quellen NRWs akquiriert. Die Datenbasis konnte gegenüber dem C&E-Projekt deutlich erweitert werden. Wie in Kapitel 5 dargestellt, differieren jedoch sowohl die räumliche Messstellenverteilung innerhalb der Landesfläche als auch die Erfassung der einzelnen Untersuchungsparameter an den Messstellen.

Eine Vielzahl der Messstellen ist auf die Erfassung des Ist-Zustandes in den Gewässern und nicht notwendigerweise auf die Abbildung der natürlichen Bedingungen ausgelegt. Ein den Auswertungen vorgeschalteter pauschaler Ausschluss von Messstellen wegen möglicher anthropogener Beeinflussungen wurde im Rahmen des Projektvorhabens als nicht zielführend angesehen. So konnte nicht in jedem Fall eindeutig eine negative Beeinflussung der Gewässer nachgewiesen werden und darüber hinaus sind auch die Auswirkungen eines anthropogenen Eintrags je nach betrachtetem Parameter unterschiedlich einzustufen. Somit wäre im Fall einer umfassenden generellen Präselektion die Datenbasis in zahlreichen Fällen bereits zu sehr und unter Umständen unzutreffend reduziert worden. Die entwickelten Selektionskriterien zielten folglich ausschließlich auf eindeutige (parameterspezifische) anthropogene Beeinträchtigungen der Oberflächengewässer ab. In diesem Zusammenhang bedurfte es während der Auswertungen intensiver parameter- und probenspezifischer Einzelfallprüfungen unter Zuhilfenahme einer lagemäßigen, GIS-technischen Betrachtung der betroffenen Beprobungsstandorte sowie von deren Umfeld. Durch diesen arbeits- und zeitintensiven Prozess konnten aber umfangreichere Bearbeitungen und dadurch ein Zugewinn an Ergebnissen ermöglicht werden.

Insgesamt betrachtet stellt die entwickelte Methodik eine transparente und zugleich flexible Ableitung von HGW dar, bei der der Bearbeiter/die Bearbeiterin neben der statistischen Auswertung an sich auch die konkreten Verhältnisse vor Ort berücksichtigen kann. Auf diese Weise konnten sowohl im Erst- als auch im Folgeprojekt repräsentative HGW für BE ermittelt und auf die FWK übertragen werden. Dabei bestätigten sich bei der Wiederaufnahme der Auswertungen für das Folgeprojekt die Vorteile der entwickelten Methodik und deren Robustheit.

Sollten zu einem späteren Zeitpunkt von Landesseite lokale geogene Anomalien, die im Rahmen des vorliegenden Bearbeitungsmaßstabs und unter der vorliegenden Messstellenverteilung nicht oder nicht vollständig erfasst werden konnten, Gegenstand gezielter Untersuchungen werden, kann auf die hier entwickelte Methodik zurückgegriffen werden. Dabei sollte auf eine gleichmäßige Erfassung der Anomalien geachtet werden, sodass weder eine Über- noch eine Unterschätzung der Konzentrationen für den FWK erfolgt. Durch den Rückgriff auf die erarbeitete Methodik kann der grundlegende Arbeitsprozess beschleunigt werden und es wird eine konsistente Ermittlung von HGW ermöglicht.

Für zukünftige Arbeiten wäre grundlegend auch ein festgelegtes Messnetz, welches auf die Erfassung natürlicher Zustände in den Gewässern ausgelegt ist, von Vorteil, um die Auswertungen zeitlich effizienter durchführen zu können und auch eine langfristige Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Krefeld, den 30.11.2025

Projektleitung:



Alena Ullmann



Hanssjörg Schuster

Bearbeitung:



Matern Brenner

34 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-AG Hydrogeologie (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland – Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung. – Geol. Jb., **A 163**: 456 S., 264 Abb.; Hannover.
- ALLOWAY, B. J. [Hrsg.] (1999): Schwermetalle in Böden – Analytik, Konzentrationen, Wechselwirkungen. – 540 S.; Berlin Heidelberg (Springer-Verlag).
- ARGE-Elbe (2000): Multielementanalysen von Wasserproben der Elbe und ausgewählter Nebenflüsse – Längsprofilbeprobung vom September 1997. – 226 S.; Potsdam, Hamburg, Schwerin, Hannover, Dresden, Magdeburg, Kiel.
- ARGE Erzbergbau – IHS & ahu AG (2012): Signifikante Belastungsquellen des Erzbergbaus und mögliche Maßnahmen im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung NRW. – Gutachten: 164 S.
- ATKIS – Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem Version 6.0. – Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
- BANNING, A. (2008): Bog Iron Ores and their Potential Role in Arsenic Dynamics: An Overview and a “Paleo Example”. – *Engineering in Life Sciences* **8** (6): 641 – 649.
- BANNING, A.; COLDEWEY, W. G.; GÖBEL, P. (2007): Identifikation und Dynamik geogener Arsen-Quellen – Fallbeispiel Münsterland (Vortrags-Kurzfass.). – In: Arsen 2007 – Verhalten von Arsen in geologischen, hydrologischen und biologischen Systemen. 27. – 28.09.2007 in Leipzig (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ Leipzig und Christian-Albrechts-Universität zu Kiel).
- BANNING, A.; RÜDE, TH. R. (2010): Enrichment processes of arsenic in oxidic sedimentary rocks – From geochemical and genetic characterization to potential mobility. – *Water Res.*, **44** (19): 5512 – 5531.
- BANNING, A.; RÜDE, TH. R.; DÖLLING, B. (2013): Crossing redox boundaries – Aquifer redox history and effects on iron mineralogy and arsenic availability. – *J. hazardous Mat.*, **262**: 905 – 914.
- BAUER, G.; EBERT, A.; HESEMANN, J.; KAMP, H. VON; MÜLLER, D.; PIETZNER, H.; PODUFAL, P.; SCHERP, A.; WELLMER, F.-W. (1979), mit Beitr. von ARNOLD, O.; ECKHARDT, H.; HERBST, F.; MIDERER, W.: Die Blei-Zink-Erzlagerstätten von Ramsbeck und Umgebung. – *Geol. Jb.*, **D 33**: 377 S.; Hannover.
- BEELEN, P. VAN; DEKKERS, A. (2017): How to deal with measurements below the detection limit? – Conference Landuse Water Quality (LuWQ); Den Haag. – [http://www.luwq2017.nl/upload/248m_VanBeelen_Dekkers_How%20to%20deal%20with%20measurements%20below%20the%20detection%20limit.pdf]
- BEINLICH, B.; KÖBLE, W. (2007): Das Westfälische Galmei-Veilchen (*Viola guestphalica*) – einzig bei Blankenrode. – *Beitr. zur Naturkde. zwischen Egge und Weser*, **19**: 80 – 82; Borgentreich. – [<https://dnb.info/1092202579/34>; letzter Zugriff: 18.06.2019]
- BERG, S. (2008): Heimischer Bergbau in und um Hückeswagen – Gruben, Stollen, Schächte, Steinbrüche, Lehmabbau. – 296 S., zahlr. Abb.; Neustadt/Aisch (Schmidt).
- BERGMANN, S.; FRITSCH, J.-G.; QUADFLIEG, A.; RICHTS, A.; WAGNER, B.; WALTER, TH.; WOLTER, R. (2015): Hydrogeochemische Hintergrundwerte im Grundwasser und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. – 22 S. – [Ad-hoc-Kleingruppe „Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer“; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser; Bund/Länder-Ausschuss Bodenforschung].
- BFG – Bundesanstalt für Gewässerkunde [Hrsg.] (2016): Informationsplattform Undine. – [<http://undine.bafg.de/servlet/is/12109/index.html>; letzter Zugriff: 24.03.2017]

- BIRKE, M.; RAUCH, U.; RASCHKA, H.; WEHNER, H.; KRINGEL, R.; GÄBLER, H.-E.; KRIETE, C.; SIEWERS, U.; KANTOR, W. (2006): Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland – Verteilung anorganischer und organischer Parameter in Oberflächenwässern und Bachsedimenten. – Vorabexemplar: 641 S.; Hannover. – [unveröff.]
- BezReg Arnsberg (2015): Beitrag zum Hochwasserrisikomanagementplan Rhein (NRW) für das Teileinzugsgebiet Lippe. – Hochwasserrisikomanagementplanung NRW – Flussgebietseinheit Rhein. 141 S., 13 Abb., 62 Tab.
- BURRE, O. (1995), mit Beitr. von KNAPP, G.; VIETEN, K.: Erläuterungen zu Blatt 5309 Königswinter. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5309**, 3. Aufl.: 62 S., 5 Abb., 3 Tab.; Krefeld.
- C&E – Consulting und Engineering GmbH (2010): Ermittlung geogener Hintergrundbelastungen durch Schwermetalle in Oberflächengewässern des Landes Sachsen-Anhalt – Verdichtung der Datenbasis. – Abschlussbericht (L.-Betrieb Hochwasserschutz u. Wasserwirtschaft Land Sachsen-Anhalt).
- C&E – Consulting und Engineering GmbH (2011): Natürliche Hintergrundbelastung von Oberflächengewässern in Nordrhein-Westfalen mit Schwermetallen. – Abschlussbericht: 197 S. (L.-Amt Natur, Umwelt u. Verbraucherschutz NRW).
- C&E – Consulting und Engineering GmbH (2012): Ermittlung geogener Hintergrundwerte für nichtsynthetische Schadstoffe in Fließgewässern des Freistaates Thüringen. – Abschlussbericht: 125 S. (Auftraggeber: Thüringer L.-Anst. Umwelt u. Geologie).
- CHRISTOFFELS, E. (1989): Gewässersedimentbericht 1989. – 47 S., 46 Abb.; Bergheim (Erftverband).
- CHRISTOFFELS, E.; SCHINDLER, T. (1996): Geogene Belastung der Erft mit Schwermetallen. – Forum Städte-Hygiene, **47** (1): 26 – 29; Hannover, Berlin.
- CLAUSEN, C.-D. (1977): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen <1 : 25 000> Blatt 4814 Lennestadt. – 1. Kt. Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.) – [Erläuterungen von CLAUSEN, C.-D.; FUCHS, W.; GWOSDZ, W.; JÄGER, B.; KAMP, H. VON; KREBS, W.; REHAGEN, H.-W.; SCHERP, A.; WIRTH, W.; WOLF, M. (1978): 474 S., 29 Abb., 28 Tab., 4 Taf.]
- CLAUSEN, C.-D.; LEUTERITZ, K. (1979): Übersicht über die Geologie des Warsteiner Sattels und seiner näheren Umgebung. – Aufschluss, **Sbd. 29**: 1 – 32, 9 Abb., 1 Tab.; Heidelberg.
- CREMER, N. (2002): Schwermetalle im Grundwasser Nordrhein-Westfalens unter besonderer Berücksichtigung des Nickels in tieferen Grundwasserleitern der Niederrheinischen Bucht. – Bes. Mitt. dt. gewässerkd. Jb., **60**: XV + 178 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Essen.
- CROMMENTUIJN, T.; SIJM, D.; BRUIJN, J. DE; HOOP, M. VAN DEN; LEEUWEN, K. VAN; PLASSCHE, E. J. VAN DE (2000): Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, taking background concentrations into account. – Journal of Environmental Management, **60**: 121 – 143; Oxford.
- DEHNER, U. (2000): Ermittlung geogener Hintergrundwerte umweltrelevanter Spurenelemente im Flußgebiet der unteren Saale auf Basis stratigraphisch bodenkundlich orientierter Untersuchungen. – Hallesches Jb. Geowiss., **B 11**: 136 S., 33 Abb., 26 Tab.; Halle/Saale (Inst. Geol. Wissensch. u. Geiseltalmuseum im Fb Geowissenschaften der Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg & Geol. L.-Amt Sachsen-Anhalt). – [Zugl. Diss. Univ. Mainz 1999]
- DEUTLOFF, O. (1978): Hydrogeologie. – Dt. Planungsatlas : Nordrhein-Westfalen, **I** (18): 34 S., 1 Kt.; Hannover (Akad. Raumforsch. u. Landesplan).
- DIN 53804-1 – Deutsches Institut für Normung e. V. (2002): Statistische Auswertungen – Teil 1: Kontinuierliche Merkmale. – 19 S.; Berlin (Beuth Verlag).

- DROSTE, B.; WISOTZKY, F. (2015): Pyritoxidationsprozesse im cretazischen Emschermergel infolge von aeroben Bedingungen durch den Emscherumbau. – *Grundwasser*, **20**: 197 – 208; Berlin, Heidelberg. – [DOI: 10.1007/s00767-015-0293-9]
- DROZDZEWSKI, G. (2007): Geologischer Bau. – In: RIBBERT, K. H.: Erläuterungen zu Blatt C 4706 Düsseldorf - Essen. – *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>*, Erl., **C 4706**, 2. Aufl.: 86 S., 23 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- EGLV a – Emschergenossenschaft/Lippeverband: Emschergenossenschaft – Flussgebietsmanagement von Anfang an. – [<https://www.eglv.de/emscher-lippe/emschergenossenschaft/>; letzter Zugriff: 13.05.2019]
- EGLV b – Emschergenossenschaft/Lippeverband: Lippeverband – Flussgebietsmanagement an der Lippe. – [<https://www.eglv.de/emscher-lippe/lippeverband/>; letzter Zugriff: 13.05.2019]
- ENGELBERG, K. (2019): Erläuterungen zu Hintergrundwerten – Ijsselmeerzuflüsse. – Plausibilitäts-prüfung: E-Mail vom 19.06.2019 – [unveröff.]
- FARRENSCHON, J.; OESTERREICH, B. (2008), mit Beitr. von BLUMENSTEIN, S.; HOLZINGER, M.; WREDE, V.: Erläuterungen zu Blatt 4519 Marsberg. – *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>*, Erl., **4519**, 2. Aufl.: 216 S., 13 Abb., 12 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- FARRENSCHON, J.; SKUPIN, K. (1991), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H.; JÄGER, B.; MICHEL, G.: Erläuterungen zu Blatt 4419 Kleinenberg. – *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>*, Erl., **4419**, 2. Aufl.: 176 S., 15 Abb., 11 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- FAUTH, H.; HINDEL, R.; SIEWERS, U.; ZINNER, J. (1985): Geochemischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland – Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten. – 79 S., zahlr. Abb. u. Kt.; Hannover (B.-Anstalt Geowissenschaften u. Rohstoffe).
- FELDWISCH, N.; LENDVACZKY, TH.; GRÖNMEIER-HANDKE, K. – Ingenieurbüro Feldwisch (2014): Digitale Bodenbelastungskarten für Auenbereiche der Erft und des Rotbaches. – 60 S.; Rhein-Erft-Kreis [Auftraggeber].
- FELDWISCH, N.; LENDVACZKY, TH. – Ingenieurbüro Feldwisch (2015): Hintergrundwerte für Schadstoffgehalte in Böden – Aktualisierung der Werte und Karten für Nordrhein-Westfalen. – LANUV Fachbericht, **66**: 50 S.; Recklinghausen (L.-Amt Natur, Umwelt u. Verbraucherschutz NRW).
- FENCHEL, W.; GIES, H.; GLEICHMANN, H.-D.; HELLMUND, W.; HENTSCHEL, H.; HEYL, K. E.; HÜTTENHAIN, H.; LANGENBACH, U.; LIPPERT, H.-J.; LUSZNAT, M.; MEYER, W.; PAHL, A.; RAO, M. S.; REICHENBACH, R.; STADLER, G.; VOGLER, H.; WALTHER, H. W. (1985): Die Sideriterzgänge im Siegerland-Wied-Distrikt. – *Geol. Jb.*, **D77**: 517 S., 128 Abb., 38 Tab., 31 Taf.; Hannover.
- FENT, K. (2013): Ökotoxikologie: Umweltchemie – Toxikologie – Ökologie, 4. Aufl. – X + 392 S., 240 Abb., 63 Tab.; Stuttgart, New York (Georg Thieme Verl.).
- FISCHER, K.; PUCHELT, H. (1974): Barium (56). – In: WEDEPOHL, K. H. [Hrsg.]: Elements Kr (36) to Ba (56). – *Hdbk Geochem.*, **2/4**: 56-A – 56-O; – [<https://www.uvm.edu/cosmolab/om/BariumHndbkofGeochem.pdf>; letzter Zugriff: 12.07.2019]
- FÖRSTNER, U.; MÜLLER G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. – 225 S.; Berlin (Springer Verlag).
- FUCHS, A.; PAECKELMANN, W. (1979): Erläuterungen zu Blatt 4709 Wuppertal-Barmen. – *Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>*, Erl., **4709**, 2. Aufl.: VII + 96 S., 7 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.

- GALUSZKA, A. (2007): A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. – Environ. Geol., **52**: 861 – 870; Berlin.
- GALUSZKA, A.; MIGASZEWSKI, Z. M. (2011): Geochemical background – an environmental perspective. – Mineralogia, **42** (1): 7 – 17, 1 Abb.; Warschau.
- GD NRW – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2003): Geologie im Weser- und Osnabrücker Bergland. – 219 S., 59 Abb., 18 Tab., 6 Farbtaf.; Krefeld.
- GD NRW – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2010): Geologie im Rheinischen Schiefergebirge, Teil 1: Nordeifel. – 184 S., 113 Abb., 6 Tab.; Krefeld.
- GD NRW – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2012): Geologie im Rheinischen Schiefergebirge, Teil 2: Bergisches Land. – 192 S., 94 Abb., 6 Tab.; Krefeld.
- GD NRW – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2015): Die Erdgeschichte unseres Landes. – [https://www.gd.nrw.de/ge_ev_stratigraphie.htm; letzter Zugriff: 05.06.2019]
- GD NRW – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (2017): Geologie im Rheinischen Schiefergebirge, Teil 3: Sauer- und Siegerland. – 244 S., 134 Abb., 14 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- GERMANN, A.; FRIEDRICH, G. (1999): Strukturkontrollierte, postvariskische Buntmetallmineralisation in paläozoischen und mesozoischen Sedimentgesteinen der nordwestlichen Eifel. – Z. dt. geol. Ges., **150** (3): 513 – 541; Stuttgart.
- GewBEÜV – Gewässerbestandsaufnahme-, Einstufungs- und Überwachungsverordnung (2006): Verordnung zur Umsetzung der Anhänge II, III und V der Richtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 über die Bestandsaufnahme und Einstufung der Gewässer vom 10. Februar 2006.
- GLA – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (1988): Geologie am Niederrhein, 4. Aufl. – 142 S., 39 Abb., 4 Tab.; Krefeld.
- GLA – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (1992): Der Malachitdom: Ein Beispiel interdisziplinärer Höhlenforschung im Sauerland. – 304 S., 136 Abb., 21 Tab., 16 Fototaf., 1 Anl.-Taf.; Krefeld.
- GLA – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen [Hrsg.] (1995): Geologie im Münsterland. – 195 S., 50 Abb., 6 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- GRABERT, H.; HILDEN, H. D. (1972), mit Beitr. von KAMP, H. VON; REINHARDT, M.; WEYER, K. U.; WIRTH, W.: Erläuterungen zu Blatt 5012 Eckenhagen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5012**: 143 S., 18 Abb., 8 Tab., 4 Taf.; Krefeld.
- GRASSEGGER, G. (1986): Geochemisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen zur Genese der Barytlagerstätte Dreislar/Sauerland. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **34**: 383 – 414, 9 Abb., 6 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- GRAEFF, B. (1942): Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungsergebnisse auf der Kupfergrube Danielszug im Bergischen Land der Gewerkschaft Danielszug, Köln. – 6 S., Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf. – [unveröff.]
- GREIF, A.; KLEMM, W. (2010): Geogene Hintergrundbelastungen: Oberflächenwassergenaue Ableitung von Referenzwerten geogener Hintergrundbelastungen für Schwermetalle und Arsen in der Wasserphase sowie im schwebstoffbürtigen Sediment sächsischer Fließgewässer im Einzugsgebiet des Erzgebirges/Vogtlandes. – Schr.-R. L.-Amt Umwelt, Landwirtsch. u. Geol., **10**: 264 S.; Dresden.

- GrwV (2016): Erste Verordnung zur Änderung der Grundwasserverordnung. – [http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/detailseite-binnengewasser/artikel/erste-verordnung-zur-aenderung-der-grundwasserverordnung/; letzter Zugriff: 06.04.2017]
- GUAGLIARDI, I.; CICHELLA, D.; DE ROSA, R.; RICCA, N.; BUTTAFUOCO, G. (2018): Geochemical sources of vanadium in soils: Evidences in a southern Italy area. – J. geochem. Expl., **184**: 358 – 364; Amsterdam.
- HAMMLER, U. (1986): Erze. – In: KAMP, H. VON: Erläuterungen zu Blatt C 5106 Köln. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., **C 5106**: 78 S., 15 Abb., 2 Tab.; Krefeld.
- HAMMLER, U. (1987): Erze. – In: BURGHARDT, O.; HAMMLER, U.; JÄGER, B.; LEDOUX, H.; MICHEL, G.; MÜLLER, H.-P.; REINHARDT, M.; RIBBERT, K.-H.: Erläuterungen zu Blatt C 5506 Bonn. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., **C 5506**: 68 S., 15 Abb., 3 Tab.; Krefeld.
- HARMS, F.-J. (1986): Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefervorkommen am Schafberg bei Ibbenbüren (westliches Osnabrücker Bergland). – Osnabrücker naturwiss. Mitt., **12**: 47 – 59, 3. Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Osnabrück.
- HELLMANN, H. (1999): Qualitative Hydrologie – Wasserbeschaffenheit und Stoff-Flüsse. – Lehrb. Hydrogeol., **2**: XIX + 468 S., 237 Abb., 90 Tab.; Berlin, Stuttgart.
- HENNINGSEN, D.; KATZUNG, G. (1992): Einführung in die Geologie Deutschlands. Ferdinand Enke Verlag.
- HESEMANN, J. (1961): Über die Erschließung neuer und bekannter, aber noch nicht abgebauter Lagerstätten Nordrhein-Westfalens. – Bergfreiheit, **26**: 313 – 318; Herne.
- HESEMANN, J.; KNEUPER, G.; PILGER, A. (1955/56): Gangkarte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlengebirges <1 : 100 000>, Tafel 16. – In: PILGER, A. (1961): Übersicht über die Gangvererzung des Ruhrgebietes. – Beih. geol. Jb., **40**: 297 – 350, 15 Abb., 1 Taf.; Hannover.
- HESEMANN, J.; PIETZNER, H.; PROKOP, F. W.; SAGHEER, M.; SCHRÖDER, G.; STADLER, G.; STRECK, W.; TSCHOEPKE, R. W.; VOGLER, H.; WALTHER, H. W.; WERNER, H. (1981): Untersuchung und Bewertung von Lagerstätten der Erze, nutzbarer Minerale und Gesteine. – Vademecum, **1**: 236 S., 3 Abb., 14 Tab., 25 Anl.; Krefeld.
- HGW Gw (2012): Hintergrundwerte im Grundwasser – Flächen mit Perzentil 90 Flächen-auswertungen. – [hgc_v301_p90.shp; Vorabversion 3.0.1; Bereitstellung durch BGR am 30.06.2017]
- HOFFMANN, A.; UDLUFT, H.; ZIMMERMANN, E. (1977), mit Beitr. von PFEFFER, P.: Erläuterungen zu Blatt 5209 Siegburg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5209**, 2. Aufl.: 76 S., 2 Abb., 6 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- HORNBERG, V. (2003): Natürliche Haupt- und Spurenelemente sowie wichtige Kennwerte von Locker- und Festgesteinen in Nordrhein-Westfalen. – Fachbeitrag: 54 S., 1 Abb., 8. Tab.; Krefeld (Geol. Dienst NRW).
- HÖLTING, B.; COLDEWEY, W. G. (2009): Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – XXVIII + 383 S., 120 Abb., 90 Tab.; Heidelberg (Spektrum Akad. Verl.). – [7. neu bearb. und erw. Aufl.]
- HÖTZL, H.; WITTHÜSER, K. (1999): Methoden für die Beschreibung der Grundwasserbeschaffenheit. – DVWK-Schriften, **125**: 241 S.; 47 Abb., 28 Tab.; Bonn.
- HUHLE, B (2013): Bindungsformen und Mobilität von Arsen in Moorböden. – Diss. Univ. Bayreuth: X + 148 S.; Bayreuth. – [https://epub.uni-bayreuth.de/32/1/Dissertation%20Beate%20Huhle.pdf]

- HygrisC – Hydrologisches Grundlagen-Informationssystem: Grund- und Trinkwasserdatenbank NRW. – Hrsg. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. – [Version 1.3.17; letzter Zugriff: Juli 2019]
- IFUA – Institut für Umwelt-Analyse (2011): Stoffsteckbriefe. – [<http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Intern/Dokumente/Stoffsteckbriefe>; letzter Zugriff: 05.04.2017]
- IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (1993): Zusammenstellung von Informationen über die geogenen Stoffgehalte von Sedimenten und Schwebstoffen. – Report, **45/92**.
- IS BK 50 – Informationssystem Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50 000 – flächendeckend. – Hrsg. Geol. Dienst NRW; Krefeld.
- IS Erz – Informationssystem Erz – flächendeckend. – Hrsg. Geol. Dienst NRW; Krefeld.
- IS GK 100 – Informationssystem Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100 000 – flächendeckend. – Hrsg. Geol. Dienst NRW; Krefeld.
- IS GDU – Informationssystem Gefährdungspotenziale des Untergrundes in Nordrhein-Westfalen – flächendeckend. – Hrsg. Land NRW (vertreten durch Geol. Dienst NRW & BezReg Arnsberg); Krefeld.
- IS HK 100 – Informationssystem Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100 000 – flächendeckend. – Hrsg. Geol. Dienst NRW; Krefeld.
- IS Qk – Informationssystem Hydrogeologie, Quellenkataster. – Hrsg. Geol. Dienst NRW, Krefeld. Projekt: Quellen in NRW [Version 2.3], Bearb.: STÜBER-DELHEY, M.
- JANSEN, N.; RÜDE, TH. R. (2006): Faziesabhängigkeit geogener Arsengehalte in Sedimenten der Niederrheinischen Bucht. – In: Indikatoren im Grundwasser – Tagung Fachsektion Hydrogeologie in der DGGV, Cottbus, 24. bis 28. Mai 2006, Abstract. – Schr.-R. dt. Ges. Geowiss., **43**: Hannover. – [Konferenzveröff.]
- JUCH, D.; PIEPER, B.; STEHN, O. (2007): Lagerstätten. – In: RIBBERT, K. H.: Erläuterungen zu Blatt C 4706 Düsseldorf– Essen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., **C 4706**, 2. Aufl.: 27 – 32, 1 Abb.; Krefeld.
- JUX, U. (1982), mit Beitr. von BASTIN, H. A.; HILDEN, H. D.; KAMP, H. VON; LEHMANN, H.; SCHERP, A.; SCHNEIDER, F. K.; STADLER, G.; WOLF, M.: Erläuterungen zu Blatt 5009 Overath. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5009**: 198 S., 11 Abb., 13 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- KAUFMANN-BOLL, C.; HÖKE, S.; LAZAR, S.; BRACKHAGE, C.; DUDEL, E. G. (2013): Arbeitshilfe Arsentransfer aus Böden in Nahrungs- und Futterpflanzen – Gefahrenbeurteilung und Maßnahmen. – Vorhaben B 1.10: Arsentransfer aus belasteten Böden in Nahrungs- und Futterpflanzen des Länderfinanzierungsprogramms Wasser, Boden, Abfall, Teil Boden: 55 S.; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz [Hrsg.]
- KARCZEWSKA, A.; KABAŁA, C. (2001): Natural and anthropogenic bioaccumulation of heavy metals in selected high moor peats of Lower Silesia (Poland). In Swift RS, Spark KM: Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters. Proc. 9th Internat. Conf. IHSS, University of Adelaide, Australia (pp. 533-540).
- KACZOREK, D.; SOMMER, M.; ANDRUSCHKEWITSCH, I.; OKTAB, L.; CZERWINSKI, Z.; STAHR, K. (2004): A comparative micromorphological and chemical study of "Raseneisenstein" (bog iron ore) and "Ortstein". Geoderma, **121**(1-2), 83-94.
- KEITER, M.; BERNDT, J.; SCHMID-BEURMANN, P. (2015): Fe-Oxide/Hydroxide precipitates ("Eisenschwarten") in the Osning Sandstone (Teutoburger Wald, Germany).

- KEYSSNER, ST.; SCHEPS, V.; FRIEDRICH, G. (1986): Zur Geochemie und Petrologie saurer Magmatite im Altpaläozoikum der nördlichen Eifel. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 34: 187 – 206, 8 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- KIRNBAUER, TH. [Hrsg.] (1998): Geologie und hydrothermale Mineralisationen im rechtsrheinischen Schiefergebirge (1998). – Jb. Nass. Ver. Naturkd., Sbd., 1: 328 S., 77 Abb., 12 Tab., 8 Farbtaf.; Wiesbaden.
- KLEIHAUER, S.; FÜHR, M.; HOMMEN, U.; HUND-RINKE, K.; HEIß, CH. (2012): Bestimmung von stoffbezogenen Umweltqualitätskriterien – Ein Methodenvergleich von nationalen und internationalen Bewertungsgrundlagen. – UBA-Texte, **38/2012, FKZ 363 01 260**: 215 S.; Berlin (Umweltbundesamt).
- Klimaatlas NRW: WMS Klimaatlas Nordrhein-Westfalen. – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW unter Verwendung von Daten des Deutschen Wetterdienstes; Land NRW [Hrsg.]. – [<http://www.wms.nrw.de/umwelt/klimaatlas?>, letzter Zugriff: Juli 2019]
- KLOSTERMANN, J. (1992): Das Quartär der Niederrheinischen Bucht: Ablagerungen der letzten Eiszeit am Niederrhein. – 200 S., 30 Abb., 8 Tab., 2 Taf.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.). – [Zugl. Habil.-Schr. Univ. Münster 1991]
- KLOSTERMANN, J. (1997): Grundwasser. – In: KLOSTERMANN, J.: Erläuterungen zu Blatt C 4302 Bocholt. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., **C 4302**: 86 S., 21 Abb., 5 Tab.; Krefeld.
- KNAPP, G. (1986), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H.; JÄGER, B.: Erläuterungen zu Blatt 4421 Borgentreich. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **4421**: 172 S., 13 Abb., 11 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- KNOLLE, F. (2009): Ein Beitrag zu Vorkommen und Herkunft von Uran in deutschen Mineral- und Leitungswässern (Doctoral dissertation, Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2008).
- Königliches Oberbergamt zu Bonn [Hrsg.] (1890): Beschreibung der Bergreviere Arnsberg, Brilon und Olpe sowie der Fürstenthümer Waldeck und Pyrmont. – IV + 252 S., 6 Kt.; Bonn (Marcus)
- KÖSTER, H. M. (1979): Die chemische Silikatanalyse – Spektralphotometrische, komplexometrische und flammenspektrometrische Analysenmethoden. – 212 S.; Berlin Heidelberg (Springer-Verlag).
- KRAHN, L. (1988): Buntmetall-Vererzung und Blei-Isotopie im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten. – Diss. TH Aachen: IV + 199 S., 72 Abb., 24 Tab.; Aachen.
- KRAHN, L.; FRIEDRICH, G. (1991): Zur Genese der Buntmetall-Vererzung im westlichen Rheinischen Schiefergebirge. – Erzmetall, **44** (1): 23 – 29, 10 Abb., 7 Tab.; Weinheim.
- Kreis Warendorf [Hrsg.] (2010): Trinkwasserbericht des Kreises Warendorf 2010. – 31 S.
- KÜHNE, F. (1979), mit Beitr. von PFEFFER, P.: Erläuterungen zu Blatt 4513 Arnsberg-Neheim (Neheim-Hüsten, Neheim). – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **4513**, 2. Aufl.: 40 S., 1 Abb., 7 Tab., 1 Taf.; Krefeld. – [1. Aufl. 1938]
- KULMS, M.; FRIEDRICH, G. (1970): Geochemische Untersuchungen der Flußwässer und Flußsedimente im Triasdreieck von Maubach – Mechernich – Kall/Nordeifel. – Geol. Mitt., **10** (1): 1 – 40, 33 Abb., 6 Tab.; Aachen.
- KUNKEL, R.; VOIGT, H.-J.; WENDLAND, F.; HANNAPPEL, ST. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. – Schr. Forsch.-Zentrum Jülich, Umwelt/Environment, **47**: 204 S.; Jülich.
- LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden, 3. überarb. u. ergänzte Aufl. – 59 S., Anhang m. Tab.

- LANUV (2013): Begleittext zur Veröffentlichung der Daten des 2. Monitoringzyklus (2009 – 2011). – [http://www.elwasweb.nrw.de/elwasweb/metadaten/Anhang/Begleittext_2_Monitoring_zyklus.pdf; letzter Zugriff: 06.04.2017]
- LANUV (2014): Stoffsteckbriefe – [http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Intern/Dokumente/Stoffsteckbriefe; letzter Zugriff: 05.04.2017]
- LANUV (2016 a): Jahreskenngrößen der Luftqualität in Nordrhein-Westfalen PM10 und Inhaltsstoffe / PM2,5 – Jahresmittelwerte und Überschreitungshäufigkeiten 01.01.2015 bis 31.12.2015. – [https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/berichte-und-trends/jahreskenngroessen-und-jahresberichte/2015/; letzter Zugriff: 28.09.2016]
- LANUV (2016 b): Diskontinuierliche Immissionsmessungen 2015. – [https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/luft/immissionen/berichte-und-trends/ergebnisse-diskontinuierlicher-messungen/; letzter Zugriff: 28.09.2016]
- LANUV (2016 c): GÜS-Datenbank; Access-DB. – [161004_Datenübermittlung_LANUV]
- LANUV (2016 d): Grundwasseranschluss der Gewässer. – [gwaesser_gwanschluss_klasse_I.shp, gwaesser_gwanschluss_klasse_II.shp; Bereitstellung durch LANUV am 29.01.2016]
- LANUV (2017): GÜS-Datenbank Ergänzung; Access-DB. – [20170116_Datenübermittlung_LANUV_2]
- LANUV (2018): GÜS-Datenbank Ergänzung; Access-DB. – [Hintergrundprojekt_1707208.accdb]
- LANUV (2023): Liste der Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte; Excel. – [D4_Liste_Stand_2023-11-10]
- LANUV (2024): GÜS-Datenbank; Access-DB. – [240524_Datenübermittlung_LANUV]
- LANUV; MKULNV (2017): DPSIR Zuordnung – [20170222_Zuordnung_Pressure_Stoff_Hintergrundprojekt_RM_JE.xlsx]
- LANUV; MUNV (2024): DPSIR Zuordnung – [20240829_Zuordnung_pressure_Stoff.xlsx] LAWA-AO [Hrsg.] (2015): Berücksichtigung von natürlichen Hintergrundkonzentrationen bei der Beurteilung von Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen nichtsynthetischer Schadstoffe. – Technische Anleitung zur OGewV, **1**: 41 S.
- LENZ, A. (1997), mit Beitr. von GAWLIK, A.; MILBERT, G.; PAHLKE, U.: Erläuterungen zu Blatt 4116 Rietberg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **4116**: 136 S., 17 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- LEPELTIER, C. (1969): A Simplified Statistical Treatment of Geochemical Data by Graphical Representation. – Economic Geology, **64**: 538 – 550; Lancaster/Pa. [u. a.].
- LETHMATE, J.; SCHNEIDER, K. (2001): Der Teutoburger Wald als pufferungsschwacher Raum: Gewässerversauerung im Osning-Sandsteinzug. Hercynia-Ökologie und Umwelt in Mitteleuropa, **34**(2), 161-170; Münster.
- LOTZE, TH. (1999): Geochemische Grundlagen zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Gesteinen in Baden-Württemberg. – Diss. TU Braunschweig: 232 S.; Braunschweig.
- LUDWIG, F. (2013): Geogene Hintergrundwerte der Hauptbestandteile und Spurenstoffe in hessischen Grundwässern. – Geol. Abh. Hessen, **118**: 165 S.; Wiesbaden (Hess. L.-Amt Umwelt u. Geologie).
- LUSZNAT, M. (1968), mit Beitr. von WIRTH, W.: Erläuterungen zu Blatt 5113 Freudenberg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5113**: 196 S., 5 Abb., 11 Tab., 6 Taf.; Krefeld.

- LUSZNAT, M. (1970), mit Beitr. von REHAGEN, H.-W.; REINHARDT, M.; WEYER, K. U.; WIRTH, W.: Erläuterungen zu Blatt 5014 Hilchenbach. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5014**, 2. Aufl.: 265 S., 19 Abb., 10 Tab., 6 Taf.; Krefeld.
- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. (2000): Geochemischer Hintergrund – berechenbar? – In: WIPPERMANN, TH. [Hrsg.]: Bergbau und Umwelt – Langfristige geochemische Einflüsse. – Geowissenschaften und Umwelt (o. Bd-Zähl.): 1 – 23; Berlin [u. a.] (Springer-Verlag).
- MEBANE, CH.; ESSIG, D. (2003): Concepts and Recommendations for Using the “Natural Conditions” Provisions of the Idaho Water Quality Standards. – 44 S.; Boise/Idaho (Idaho Department of Environmental Quality).
- MEDERER, J.; HINDEL, R.; ROSENBERG, F.; LINHARD, E.; MARTIN, M. (1998): UAG „Hintergrundwerte“ der Ad-hoc-AG Geochemie: Statusbericht Dezember 1996. – Geol. Jb., **G 6**: 130 S.; Hannover.
- MERKEL, B.; SPERLING, B. (1998): Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil II. – DVWK-Schriften, **117**: XVIII + 397 S.; zahlr. Abb., Tab. + CD-ROM; Bonn.
- MERTENS, J.; KLINGER, C.; SCHREIBER, U.; WIEGAND, J. (2001): Geogene Arsen- und Schwermetallanreicherungen im Essener Grünsand des mittleren Ruhrgebietes. – 153. Jahrestag. Deutschen Geologischen Gesellschaft 2001. – [https://www.uni-due.de/imperia/md/content/fb10_geologie/arsen_essen3.pdf; letzter Zugriff: 24.06.2019]
- MICHEL, G; ADAMS, U; SCHOLLMAYER, G. (1998): Mineral- und Heilwässervorkommen in Nordrhein-Westfalen und angrenzenden Gebieten. – 80 S.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf.).
- Mineralienatlas: – [<https://www.mineralienatlas.de/maps/?mid=309>; letzter Zugriff: 19.09.2019]
- MKULNV [Hrsg.] (2015): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas – Bewirtschaftungsplan 2016-2021. – [<http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Bewirtschaftungsplan/2015>; letzter Zugriff: 15.12.2016]
- MKULNV; LANUV; acwa – Aachen Wasser; Geobasis NRW (2014): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, 17. Aufl. – 75 S., zahlr. Abb., 13 Tab., 9 Kt.; Düsseldorf (Minist. Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW).
- MKULNV; LANUV (2015 a): Maßnahmenprogramm 2016-2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas. – 228 S.; Düsseldorf (Minist. Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW).
- MKULNV; LANUV (2015 b): Bewirtschaftungsplan 2016-2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas. – 814 S; Düsseldorf (Minist. Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW).
- MOTTEQUIN, B.; GHYSEL, P.; LALOUX, M.; MARION, J. M.; PINGOT, J. L. (2012): Detailed mapping of Santonian-Maastrichtian formations in northeast Wallonia, Belgium. In The Maastrichtian Stage; the current concept. Natuurhistorisch Museum, Maastricht, Netherlands.
- MULNV [Hrsg.] (2021 a): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas – Bewirtschaftungsplan 2022-2027.
- MULNV [Hrsg.] (2021 b): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Bewirtschaftungszeitraum 2022-2027. Oberflächengewässer und Grundwasser Teileinzugsgebiet Rhein/Mittelrhein und Mosel NRW. – 268 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)

- MUNLV [Hrsg.] (2021 c): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Bewirtschaftungszeitraum 2022-2027. Oberflächengewässer und Grundwasser Teileinzugsgebiet Rhein/Deltarhein NRW. – 132 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2021 d): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Bewirtschaftungszeitraum 2022-2027. Oberflächengewässer und Grundwasser Teileinzugsgebiet Weser/Weser NRW. – 430 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MULNV; LANUV (2021): Maßnahmenprogramm 2022-2027 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas. – 296 S.; Düsseldorf (Minist. Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW).
- MUNV; LANUV; Geobasis NRW (2024): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, 20. Aufl. – 304 S., zahlr. Abb., Tab., Kt.; Düsseldorf (Minist. Umwelt, Naturschutz und Verkehr NRW).
- MÜLLER, G. (1986): Schadstoffe in Sedimenten – Sedimente als Schadstoffe. – Mitt. österr. geol. Ges., **79**: 107 – 126; Wien.
- MÜLLER, H. (1994), mit Beitr. von ERKWOH, F.-D.; GAWLIK, A.; NIESKENS, H.-G.; REHAGEN, H.-W.; VIETH-REDEMANN, A.; WEBER, P.: Erläuterungen zu Blatt 4915 Wingshausen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **4915**, 2. Aufl.: 145 S., 18 Abb., 6 Tab., 2 Taf.; Krefeld. – [1. Aufl.: Schmidt, W. E. (1935): Erläuterungen zu Blatt Wingshausen. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. B.-Staaten <1 : 25 000>, 33 S.; Berlin]
- MUNLV [Hrsg.] (2005 a): Ergebnisbericht Emscher – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 297 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2005 b): Ergebnisbericht Ijsselmeer-Zuflüsse/NRW – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 332 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2005 c): Ergebnisbericht Lippe – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 403 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2005 d): Ergebnisbericht Ruhr – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 445 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2005 e): Ergebnisbericht Sieg – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 301 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2005 f): Ergebnisbericht Weser NRW – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 443 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)
- MUNLV [Hrsg.] (2005 g): Ergebnisbericht Wupper – Wasserrahmenrichtlinie in NRW – Bestandsaufnahme. – 301 S.; Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen)

- MUNLV [Hrsg.] (2005 h): Anhang 1: Übersicht über die Flächennutzung in den einzelnen Arbeits- und Zuliefergebieten in NRW. – In: Bestandsaufnahme 2004 – Wirtschaftliche Analyse [...]. Düsseldorf (Minist. für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) – [<https://www.flussgebiete.nrw.de/bestandsaufnahme-2004-5099>; letzter Zugriff: 06.06.2019]
- NEHLS, A. (1993): Aller Reichtum lag in der Erde: Die Geschichte des Bergbaus im Oberbergischen Kreis. – 431 S., m. Abb. u. Ktn.; Gummersbach (Gronenberg).
- NORRA, ST.; HUCK, K.; SCHMIDT, F.; KRAMAR, U.; STÜBEN, D. (2000): Regionalisierung von geogenen Hintergrundwerten für die Fließgewässer in Baden-Württemberg. – Forsch.-Ber.; Karlsruhe (Inst. Petrographie u. Geochemie, Universität Karlsruhe (TH)).
- OBERMANN, P.; WISOTZKY, F.; CREMER, N.; LENK, S. (2001): Untersuchungen zur Bindungsform von Schwermetallen in tieferen Porengrundwasserleitern der Niederrheinischen Bucht unter besonderer Berücksichtigung des Nickels. – Endbericht: 127 S. (Auftraggeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen).
- OGewV (2011): Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429). – Bundesgesetzblatt, Jg. 2011, **37** (I); Bonn.
- OGewV (2016): Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373). – Bundesgesetzblatt, Jg. 2016, **28** (I); Bonn.
- OSTE, L.; ZWOLSMAN, G. J.; KLEIN, J. (2012): Methods to derive natural background concentrations of metals in surface water and application of two methods in a case study. – 104 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Delft (Deltares).
- OTTO, A. (2017): Grundwasserqualität – Messdaten. (Bayerisches L.-Amt Umwelt) – [<http://www.lfu.bayern.de/wasser/grundwasserqualitaet/messdaten/index.htm>; letzter Zugriff: 06.04.2017]
- OTTO, F. J. [Hrsg.] (1846): Lehrbuch der Chemie – Zum Theil auf Grundlage von Dr. Thomas Grahams 'Elements of Chemistry', **2 (2)**, 2. Aufl.; Braunschweig (Friedrich Vieweg und Sohn.)
- PAECKELMANN, W.; KÜHNE, F. (1936), mit Beitr. von PFEFFER, P.: Erläuterungen zu Blatt Madfeld. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. B.-Staaten <1 : 25 000>, **4518**, 83 S.; Berlin]
- PAECKELMANN, W. (1936), mit Beitr. von PFEFFER, P.: Erläuterungen zu Blatt Brilon. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. B.-Staaten <1 : 25 000>, **4617**, 71 S.; Berlin]
- PEETERS, B. (2017): Praktikumsarbeit – [unveröff.]
- PETERS, A.; MERRINGTON, G.; CRANE, M. (2012): Estimation of background reference concentrations for metals in UK freshwaters. – 49 S.; Edinburgh (Water Framework Directive – UK Technical Advisory Group).
- PILGER, A. (1961): Übersicht über die Gangvererzung des Ruhrgebietes. – In: PILGER, A.: Die Blei-Zink-Erzvorkommen des Ruhrgebietes und seiner Umrandung. – Beih. geol. Jb., **40**: 297 – 350; Hannover.
- PK HGW – Personenkreis Hintergrundwerte Grundwasser (2014): Erläuterungen zum Web Map Service (WMS) „Hintergrundwerte im Grundwasser“. – 24 S. (Ad-hoc AG Hydrogeologie; Staatliche Geologische Dienste Deutschland).
- PODUFAL, P. (1996): Die Geologie der Blei-Zink-Lagerstätte Ramsbeck im östlichen Rheinischen Schiefergebirge. – In: SENGER, M. [Hrsg.]: Bergbau im Sauerland: 51 – 62; Schmallenberg-Holthausen.

- PRANGE, A. u. Mitarbeiter (1997): Erfassung und Beurteilung der Belastung der Elbe mit Schadstoffen – Teilprojekt 2: Schwermetalle – Schwermetallspezies. – BMBF-Verbundvorhaben, 02-WT 9355/4, **Bd. 1 – 3**; Geesthacht (GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH).
- PRTR (2016): Downloads – PRTR-Gesamtdatenbestand (Stand 31.03.2016). SQLite-Datenbank – [<https://www.thru.de/thrude/downloads/>; letzter Zugriff: September 2016]
- PRTR (2023): Downloads – PRTR-Gesamtdatenbestand (Stand 11.12.2023). SQLite-Datenbank – [<https://www.thru.de/thrude/downloads/>; letzter Zugriff: August 2025]
- PTKA-WTE – Projektträger Karlsruhe Wassertechnologie und Entsorgung (2000): Die Belastung der Elbe. **TI. 2** Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse. – BMBF-Verbundvorhaben. – 192 S.; Karlsruhe (Forschungszentrum Karlsruhe).
- PUCHELT, H. (1967): Zur Geochemie des Bariums im exogenen Zyklus. – Sitz.-Ber. Heidelberg 67/68, **4**: 206 S.; Heidelberg
- RAUFF, H. (1980): Nutzbare Ablagerungen. – In: RAUFF, H.: Erläuterungen zu Blatt 5308 Bonn-Bad Godesberg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5308**, 2. Aufl.: XII + 66 S., 2 Abb., 1 Tab.; Krefeld.
- REDECKE, P. (1992): Zur Geochemie und Genese variszischer und postvariszischer Buntmetallmineralisationen in der Nordeifel und der Niederrheinischen Bucht. – Diss. TH Aachen: X + 152 S., 60 Abb., 30 Tab.; Aachen.
- REIMANN, C.; GARRETT, R. G. (2005): Geochemical background – concept and reality. – Sci. total Environment, **350**: 12 – 27; Amsterdam.
- REMMERT, M. (2024): Datenzusammenstellung aus dem Projekt „Bensberger Erzrevier“ [noch unveröff.] – [Objekte_Altbergbau.xlsx]
- REPPKE, V. (1993): Varistische und postvaristische Buntmetallmineralisationen in der östlichen Eifel (Linksrheinisches Schiefergebirge): ein mineralogischer und bergbauhistorischer Überblick. – Diss. Univ. Göttingen: VI + 347 S., zahlr. Abb.; Göttingen.
- RIBBERT, K.-H. (1992), mit Beitr. von BRUNEMANN, H.-G.; JÄGER, B.; KNAPP, G.; MICHEL, G.; REINHARDT, M.; WEBER, P.; WREDE, V.: Erläuterungen zu Blatt C 5502 Aachen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., C 5502: 84 S., 21 Abb., 5 Tab.; Krefeld.
- Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, **L 327/I**: 72 S., 11 Anh. – [vom 22.12.2000]
- Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. – Amtsblatt der Europäischen Union, **L348/84**. – [vom 24.12.2008]
- Richtlinie 2009/90/EG der Kommission vom 31. Juli 2009 zur Festlegung technischer Spezifikationen für die chemische Analyse und die Überwachung des Gewässerzustands gemäß der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. – Amtsblatt der Europäischen Union, **L201/36**. – [vom 01.08.2009]
- Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. – Amtsblatt der Europäischen Union, **L226/1**. – [vom 24.08.2013]

- ROBASZYNSKI, F. (2006): Maastrichtian. *Geologica Belgica*, **9/1-2**: 63-72.
- ROTHWELL, J. J.; EVANS, M. G.; DANIELS, S. M.; ALLOTT, T. E. H. (2007): Baseflow and stormflow metal concentrations in streams draining contaminated peat moorlands in the Peak District National Park (UK). *Journal of Hydrology*, **341**(1-2), 90-104.
- Ruhrverband (2015): Ruhrgütebericht. – 218 S.; Essen.
- Ruhrverband: Die Ruhr – kleiner Fluss mit großer Aufgabe. – [<https://www.ruhrverband.de/fluesse-seen/>]; letzter Zugriff: 15.05.2019]
- RÜDE, TH. R.; SPÖRLEIN, T. (2014): Uran im Grundwasser. – *Grundwasser*, **20**: 144 – 147; Berlin, Heidelberg.
- RYAN, T. A.; JOINER, B. L. (1976): Normal probability plots and tests for normality. Technical Report, Statistics Department, Pennsylvania State University.
- SALOMONS, W.; GROOT, A. J. DE; (1978): Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine River. – In: KRUMBEIN, W. E. [Hrsg.]: *Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology*, **1**: 149 – 162; Michigan.
- SCHAEFFER, R. (1979): Bleiglasurerzgänge im Warsteiner Karbonatgebiet und seiner näheren Umgebung, Gangausbildung und Mineralführung. – *Aufschluss*, Sbd., **29**: 233 – 240, 3 Abb.; Heidelberg.
- SCHAEFFER, R. (1986): Geochemische Charakteristik und Genese der jungmesozoisch-tertiären Vererzung im Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge). – *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, **34**: 337 – 381, 7 Abb., 11 Tab., 3 Taf.; Krefeld.
- SCHAEFFER, R.; HEIN, P. (1985): Der Kupfererzbergbau bei Marsberg im Sauerland. – *Aufschluss*, **36**: 105 – 116, 5 Abb.; Heideberg.
- SCHALICH, J.; SCHNEIDER, F. K.; STADLER, G. (1986): Die Bleierzlagerstätte Mechernich: Grundlage des Wohlstandes, Belastung für den Boden. – *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, **34**: 1 - 91, 25 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- SCHENK, V. (2003): Natürliche Grundwasserbeschaffenheit – Definition und Abgrenzung gegen verwandte Begriffe. – *Grundwasser*, **8** (2): 122 – 124; Hannover.
- SCHLEYER, R.; KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen – Eine Bestandsaufnahme für den vorbeugenden Grundwasserschutz sowie zur Erkennung von Grundwasserverunreinigungen. – 249 S.; Weinheim.
- SCHMIDT-WYGASCH, C. M. (2011): Neue Untersuchungen zur holozänen Genese des Unterlaufs der Inde. – Diss. RWTH Aachen: XXII + 362 S.; Aachen. – [Fak. Georessourcen u. Materialtechnik].
- SCHNEIDER, P.; NEITZEL, P. L.; SCHAFFRATH, M.; SCHLUMPRECHT, H. (2003): Leitbildorientierte physikalisch-chemische Gewässerbewertung – Referenzbedingungen und Qualitätsziele. – *UBA-Texte*, **15/03, FKZ 200 24 226**: 159 S. + 35 S. Anh.; Berlin (Umweltbundesamt).
- SCHNEIDER, P.; LÄMMEL, A.; GOTTSCHALK, N.; VOIGT, I. (2014): Ermittlung von natürlichen Metall-Hintergrundkonzentrationen für die Gewässer Oker, Oder, Sieber, Söse und Innerste des Westharzes. – *Wasser und Abfall*, **4**: 32 – 41; Wiesbaden.
- SCHNEIDER, H.; THIELE, S. (1965): Geohydrologie des Erftgebietes. – 185 S., 75 Abb., 7 Tab., 2 Taf.; Düsseldorf (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten).
- SCHRIEL, W. (1954): Der Briloner Galmei-Distrikt. – *Z. dt. geol. Ges.*, **106**: 308 – 349, 7 Abb., 5 Taf.; Hannover.

- SCHRÖDER, R. (1992): Geochemische und statistische Untersuchungen zur Bindung und Verteilung der kohlerelevanten Spurenelemente Arsen, Beryllium, Cadmium, Kobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Mangan, Molybdän, Nickel, Blei, Uran, Vanadium und Zink in Flözkohlen des Westfals des Ruhrgebietes. – Reihe Geowissenschaften: XIII + 176 S., zahlr. Abb. u. Tab; Aachen (Shaker). – [Zugl.: Diss. TH Aachen]
- SCHRÖDER, W.; PESCH, R.; ZECHMEISTER, H.; KRATZ, W.; HOLY, M.; HARMENS, H.; FAGERLI, H.; ILYIN, I. (2010): Atmosphärische Deposition und Anreicherung von Schwermetallen und Stickstoff in Natura-2000-Gebieten Deutschlands – Moosmonitoring Beitragsserie. – Umweltwiss. u. Schadstoff-Forsch., **22**: 711 – 720; Landshut.
- SCHUSTER, H.; ULLMANN, A. (2017): Zwischenbericht zum Projekt Natürliche Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens. – [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/oberflaechengewaesser_14-07-2017_natuerliche_hintergrundkonzentrationen_zwischenbericht.pdf; letzter Zugriff: 17.05.2019]
- SCHUSTER, H.; ULLMANN, A. (2019): Abschlussbericht zum Projekt Natürliche Hintergrundkonzentrationen in Oberflächengewässern Nordrhein-Westfalens. – [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/media/document/file/abschlussbericht_higro.pdf; letzter Zugriff: 29.10.2025]
- SIEWERS, U.; HERPIN, U. (1998): Schwermetalleinträge in Deutschland – Moos-Monitoring 1995/96. – Geol. Jb., Sonderh. D, Mineralogie, Petrographie, Geochemie, Lagerstättenkunde, **SD 2**: 199 S.; Stuttgart.
- SIMON, P. (1979), mit Beitr. von KRÖMMELBEIN, K.; TAUPITZ, K.-CH.: Die marin-sedimentären Eisenerze in der Eifel. – Geol. Jb., **D 31**: 133 – 151, 2 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- SPEETZEN, E. (2010): Osning-Sandstein und Gault-Sandstein (Unterkreide) aus dem Teutoburger Wald und dem Eggegebirge und ihre Verwendung als Naturbaustein. – Geol. u. Paläont. Westf., **77**: 59 S., 36 Abb., 11 Tab., 1 Kt.; Münster/Westf.
- STADLER, G. (1971): Die Vererzung im Bereich des Bramscher Massivs und seiner Umgebung. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **18**: 438 – 500, 12 Abb., 4 Tab., 3 Taf.; Krefeld.
- STADLER, G. (1977): Untersuchungen zum Nachweis von Schwespat im bleierzknotenführenden Buntsandstein des Griesberges bei Mechernich, TK 25, Bl. 5405 Mechernich und 5305 Zülpich. – 6 S.; Archiv GD NRW, Krefeld. – [unveröff.]
- STASSNY, T. – Dr. Neumann Consulting (2011): Digitale Bodenbelastungskarte StädteRegion Aachen – Teilgebiet 2. StädteRegion Aachen.
- STORK, G.-H.; BACHMANN, M.; HOYER, P. (1973): Lagerstätten II – Kohlen, Erdöl und Erdgas, Salze, Erze und Minerale. – Dt. Planungsatlas: Nordrhein-Westfalen, I (6): 11 S., 1 Kt.; Hannover (Akad. Raumforsch. u. Landesplan).
- STRÄßMANN, A. (1999): Geologie und Montangeschichte nordrhein-westfälischer Schwermetallstandorte. – In: PARDEY et al. (1999): Naturschutz-Rahmenkonzeption Galmeifluren NRW: Schutzgebiets- und Biotopverbundplanungen für naturschutzwürdige Biotopkomplexe im Bereich nordrhein-westfälischer Schwermetallstandorte (Schwermetallrasen, Heiden, Halbtrockenrasen, Felsen, Schotterfluren, Wiesen, Gewässer und Gehölze). – Schr.-R. L.-Anst. Ökol., Bodenordn. u. Forsten / L.-Amt Agrarordn. Nordrh.-Westf., **16**: 73 – 98, m. Abb.; Recklinghausen.
- STUMM, W.; KELLER, L. (1984): Chemische Prozesse in der Umwelt – Die Bedeutung der Spezierung für die chemische Dynamik der Metalle in Gewässern, Böden und Atmosphäre. – In: MERIAN, E.; GELDMACHER-VON MALLINCKRODT, M.; MACHATA, G.; NÜRNBERG, H. W.; SCHLIPKÖTER, H. W.; STUMM, W. [Hrsg.]: Metalle in der Umwelt: 21 – 33; Weinheim (Verlag Chemie).

- SUTPHIN, D. M.; HAMMARSTROM, J. M.; DREW, L. J.; LARGE, D. E.; BERGER, B. R.; DICKEN, C. L.; DEMARR, M. W. (2010): Porphyry copper Assessment of Europe, exclusive of the Fennoscandian Shield. – In: Global Mineral Resource Assessment. – U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report, **2010-5090-K**: zahlr. Abb. u. Tab.; Reston/Va. – [<http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5090/k/>]
- TETZLAFF, B.; CHEN, S.; ELISON, P.; KONOPKA, R.; KUHR, P. (2013): Schwermetalle aus landwirtschaftlicher Flächennutzung? Ursachenanalyse von Kupfer- und Zinkeinträgen im Einzugsgebiet der Ems (NRW). – Abschlussbericht. – 250 S.; Jülich (Forschungszentrum Jülich).
- THIERMANN, A. (1970), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H.: Erläuterungen zu Blatt 3712 Tecklenburg. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **3712**: 243 S., 22 Abb., 10 Tab., 7 Taf.; Krefeld.
- THÜNKER, M. (2001), mit Beitr. von KRAHN, L.; KOCH, U.; VIETH, A.: Erläuterungen zu Blatt 5114 Siegen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 25 000>, Erl., **5114**, 2. Aufl.: 171 S., 18 Abb., 6 Tab., 3 Taf.; Krefeld.
- TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001). – Bundesgesetzblatt, Jg. 2013, **46** (I): 104 S.; Bonn.
- TUREKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the Elements in some Major Units of the Earth's Crust. – Bull. geol. Soc. Amer., **72**: 175 – 192, 2 Tab.; New York.
- VOGTMANN, R.; SCHEPS, V.; FRIEDRICH, G. (1986 a): Geochemie und Sulfidführung oberdevonischer Schwarzschiefer und Knollenkalke der Inde-Mulde. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **34**: 103 – 131, 6 Abb., 4 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- VOMBERG, ST.; MEID, M.; HERTEL, P.; TRAPP, TH. (2017): In situ Immobilisierung von Chrom-VI im Abstrom einer ehemaligen Imprägniererei – der Weg zur Stabilisierungsphase nach 1,5 Jahren. – Altlastensymposium 2017: 11 S., 13 Abb.; – [https://www.cdmsmith.com/-/.../Paper_Vomberg_Meid_Chrom-VI_Gerthe_ITVA_Tagungsband_2017-1.pdf]
- VON KAMP, H. (1985 a): Erdgeschichte. – In: CLAUSEN, C.-D.; VON KAMP, H.; MÜLLER, H.; THÜNKER, M.; VOGLER, H.; MÜLLER, H.: Erläuterungen zu Blatt C 5114 Siegen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., **C 5114**: 80 S., 18 Abb., 3 Tab.; Krefeld.
- VON KAMP, H. (1985 b): Erze und Industriemineralien. – In: CLAUSEN, C.-D.; VON KAMP, H.; MÜLLER, H.; THÜNKER, M.; VOGLER, H.; MÜLLER, H.: Erläuterungen zu Blatt C 5114 Siegen. – Geol. Kt. Nordrh.-Westf. <1 : 100 000>, Erl., **C 5114**: 80 S., 18 Abb., 3 Tab.; Krefeld.
- VOGTMANN, J.; SCHEPS, V.; FRIEDRICH, G. (1986 b): Zur Geochemie und Mineralogie der kambro-ordovizischen Sedimentgesteine an der Südostflanke des Stavelot-Venn-Massivs, Nordeifel. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **34**: 159 - 185 7 Abb., 7 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- WAGNER, B.; WALTER, TH.; HIMMELSBACH, TH.; CLOS, P.; BEER, A.; BUDZIAK, D.; DREHER, TH.; FRITSCHKE, H-G.; - HÜBSCHMANN, M.; MARCZINEK, S.; PETERS, A.; POESER, H.; SCHUSTER, H.; STEINEL, A.; WAGNER, F.; WIRSING, G. (2011): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Deutschlands als Web Map Service. – Grundwasser, **16** (3): 155 – 162; Berlin, Heidelberg. – [DOI:10.1007/s00767-011-0161-1]
- WAGNER, B.; TÖPFNER, CH.; LISCHIED, G.; SCHOLZ, M.; KLINGER, R.; KLAAS, PH. (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. – GLA-Fachberichte, **21**: 250 S., 107 Abb., 15 Tab.; München.
- WALTER, TH. (2008): Determining Natural Background Values with Probability Plots. – In: EU Groundwater Policy Developments Conference, 13-15 November 2008 – UNESCO, Paris, France: S. 80, 1 Abb.; Paris.

- WALTER, TH.; BEER, A.; BROSE, D.; BUDZIAK, D.; CLOS, P.; DREHER, TH.; FRITSCHKE, H.-G.; HÜBSCHMANN, M.; MARCZINEK, S.; PETERS, A.; POESER, H.; SCHUSTER, H.; WAGNER, B.; WAGNER, F.; WIRSING, G.; WOLTER, R. (2012): Determining natural background values with probability plots. – In: MALOSZEWSKI, P.; WITCZAK, ST.; MALINA, G. [Hrsg.] *Groundwater Quality Sustainability*: 331 – 342; Boca Raton, London u. a. (CRC Press).
- WAMBEKE, L. VAN (1956 a): Compositions minéralogiques et chimiques des tonalites de la Helle et de Lammersdorf (Haute-Fagnes). – *Bull. Soc. belge Géol., Paléont. et Hydrol.*, **64**: 477 – 509, 5 Abb.; Bruxelles.
- WAMBEKE, L. VAN (1956 b): La minéralisation des tonalites de la Helle et de Lammersdorf et leurs relations avec les autres minéralisations. – *Bull. Soc. belge Géol., Paléont. et Hydrol.*, **64**: 534 – 81, 5 Abb.; Bruxelles.
- Wasserportal Rheinland-Pfalz: – [<https://wasserportal.rlp-umwelt.de/geoexplorer>; letzter Zugriff: 31.08.2025]
- WEDEPOHL, K. H. (1960): Spurenanalytische Untersuchungen an Tiefseetonen aus dem Atlantik: Ein Beitrag zur Deutung der geochemischen Sonderstellung von pelagischen Tonen. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **18** (1 – 3): 200 – 231; New York. – [[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(60\)90088-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(60)90088-0)]
- WEDEPOHL, K. H. (1995): The composition of the continental crust. – *Geochim. cosmochim. Acta*, **59** (7): 1217 – 1232; New York.
- WENDLAND, F.; HANNAPPEL, ST.; KUNKEL, R.; SCHENK, R.; VOIGT, H. J.; WOLTER, R. (2005): A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany. – *Water Science & Technology*, **51** (3 – 4): 249 – 257; London.
- WENDLAND, F.; BERTHOLD, G.; BLUM, A.; ELSASS, P.; FRITSCHKE, J.-G.; KUNKEL, R.; WOLTER, R. (2008): Derivation of natural background levels and threshold values for groundwater bodies in the Upper Rhine Valley (France, Switzerland and Germany). – *Desalination*, **226** (1 – 3): 160 – 168.
- WENDLAND, F.; BERGMANN, S.; EISELE, M.; HERRMANN, F.; KUNKEL, R.; LINDER, B.; SCHÖBEL, TH.; SCHUSTER, H. (2019): Modellierung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone und der Fließzeiten des Grundwassers in Nordrhein-Westfalen. – 98 S. – [Projekt GROWA+ – NRW 2021, AK Arbeitspaket III; noch unveröff. Bericht]. (Auftraggeber: L.-Amt Natur, Umwelt u. Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen).
- WERNER, W. (1990): Die epigenetische Markasit-Schwerspat-Zinkblende-Vererzung Altenbüren (nordöstliches Rheinisches Schiefergebirge). – *Geol. Jb.*, **D 95**: 139 – 176, 10 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- WESCHE, D. (2017): Analyse der hydrogeologischen Eigenschaften der Deckgebirgsschichten und Störungen im Münsterländer Kreidebecken auf Grundlage eines neuen integrierten 3D-Untergrundmodells. – Dissertation an der TU Clausthal – in: Schriftenreihe des Instituts für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal, Heft 25: 257 S., 100 Abb., 27 Tab., 8 Anh., 12 Anl.; Clausthal.
- WETTIG, E. (1974): Die Erzgänge des nördlichen rechtsrheinischen Schiefergebirges, ihr Inhalt und ihre tektonischen Zusammenhänge. – *Clausth. Geol. Abh.*, **19**: 363 S., 158 Abb., 145 Tab., 6 Kt.; Clausthal-Zellerfeld.
- WIRSING, T (2005): Verteilung von Schwermetallen in Mooren – Möglichkeit eines historischen Überblicks. – 26 S.; München (GRIN Verlag). – [<https://www.grin.com/document/47874>]
- WISOTZKY, F. (2011): *Angewandte Grundwasserchemie, Hydrogeologie und hydrogeochemische Modellierung*, 1. Aufl.; Berlin Heidelberg (Springer-Verlag).

- WISOTZKY, F.; DROSTE, B.; BANNING, A. (2017): Hydrogeochemie und geogene Fluorid- und Borproblematik des Emschermergels im Münsterland. – *Grundwasser*, **22**: 3 – 15; Berlin u. a. – [DOI: 10.1007/s00767-016-0345-9]
- WMS DTK 100 – WMS der Digitalen Topographischen Karte 1 : 100 000. – Hrsg. Geobasis-DE / BKG 2019; BR Köln; Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 – [http://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dtk100?; letzter Zugriff: 2019]
- WMS DTK 10 – WMS der Digitalen Topographischen Karte 1 : 10 000. – Hrsg. Geobasis-DE / BKG 2019; BR Köln; Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 – [https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dtk10?; letzter Zugriff: 2019]
- Wupperverband: Talsperren. – [https://www.wupperverband.de/internet/web.nsf/id/pa_de_talsperren.html; letzter Zugriff: 15.05.19]
- ZustVU (2015): Zuständigkeitsverordnung Umweltschutz (ZustVU) vom 3. Februar 2015 (Fn 1) (Fn 2). – Düsseldorf (Minist. Inneres u. Kommunales NRW).
- ZUURDEEG, B. W.; ENK, R. J. VAN; VRIEND, S. P. (1992): Natuurlijke Achtergrond gehalten van zware metalen en enkele andere sporenelementen in Nederlands oppervlaktewater. – 100 S.; Utrecht (Geochem-Research, Utrecht). – [in Niederländisch]