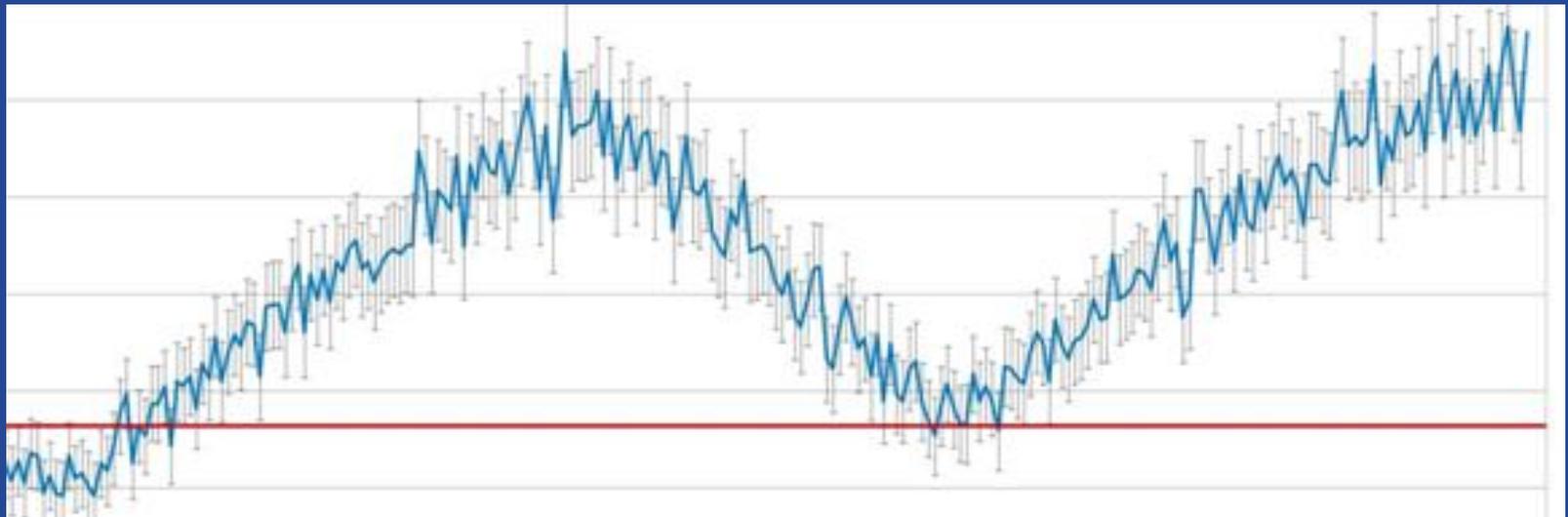


# Ergebnisse der Radonmessungen im Bereich Trebur



Dr. Rouven Lehné, MSc. Geow. Georg Kuhn, Dr. Hans-Gerhard Fritsche

22.09.2015

# Überblick Oberrheingraben



**Dimensionen:**

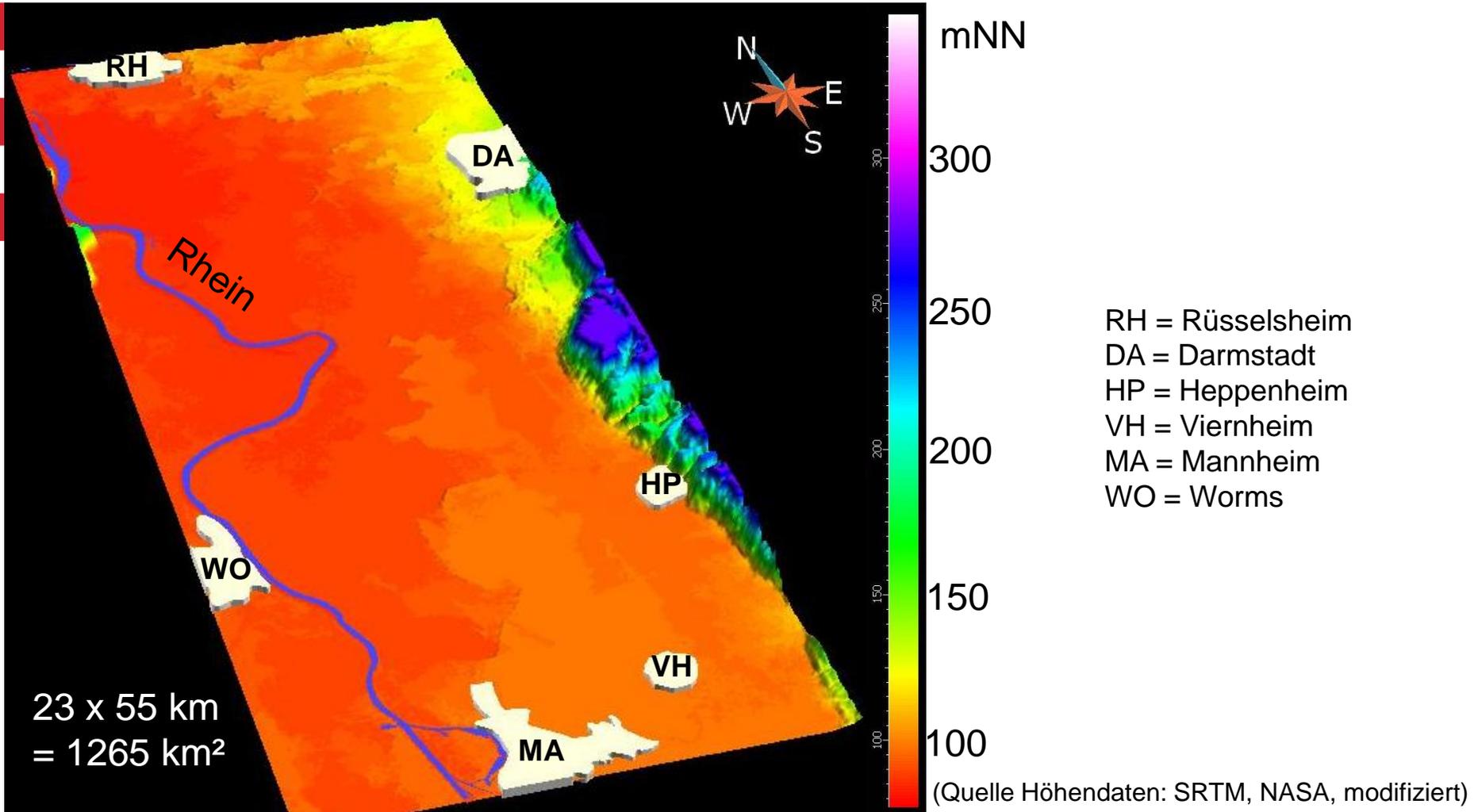
300 km Länge

30-40 km Breite

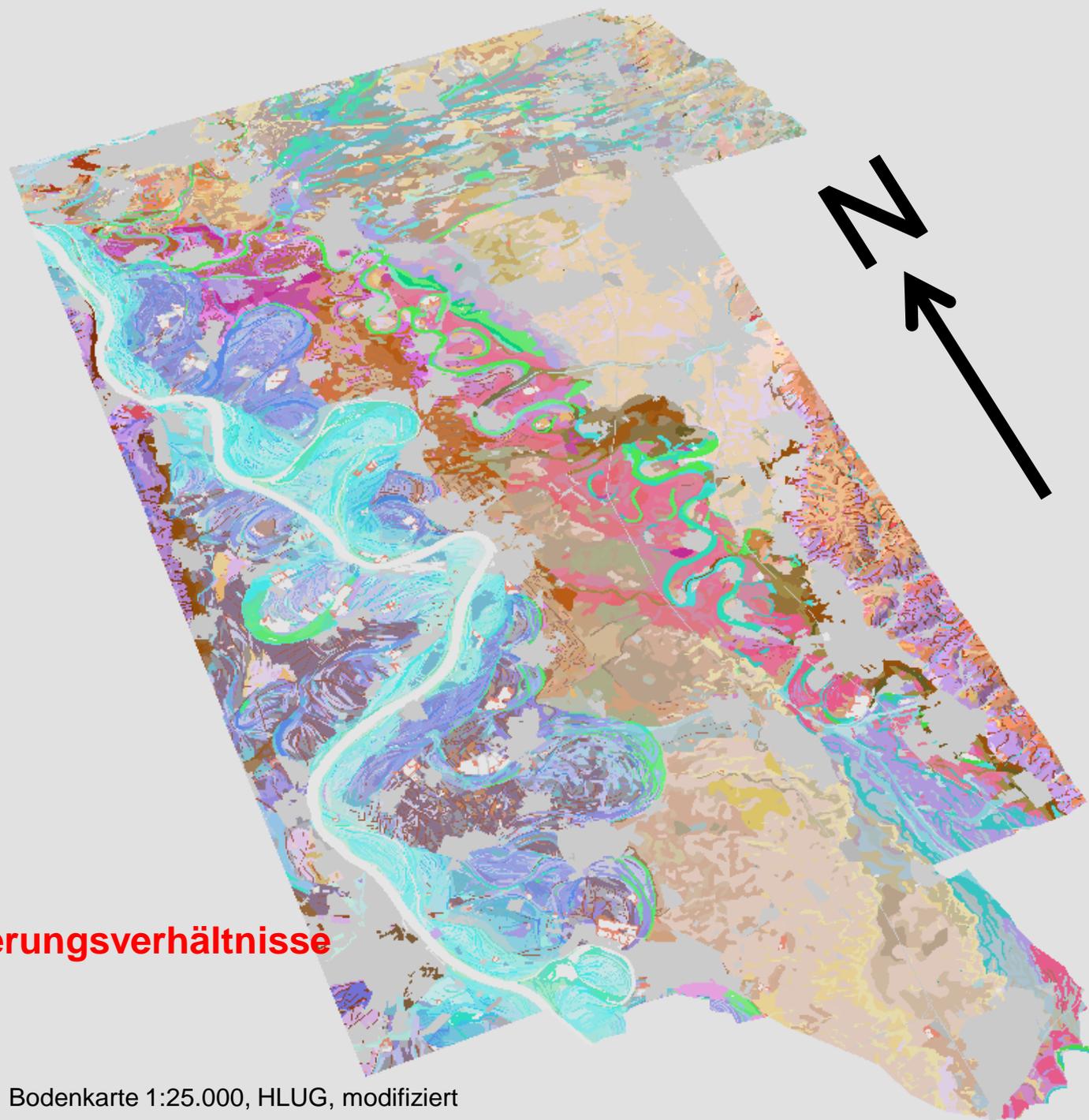
>5000 m Tiefe

NNE-SSW orientiert

# Übersicht nördlicher Oberrheingraben

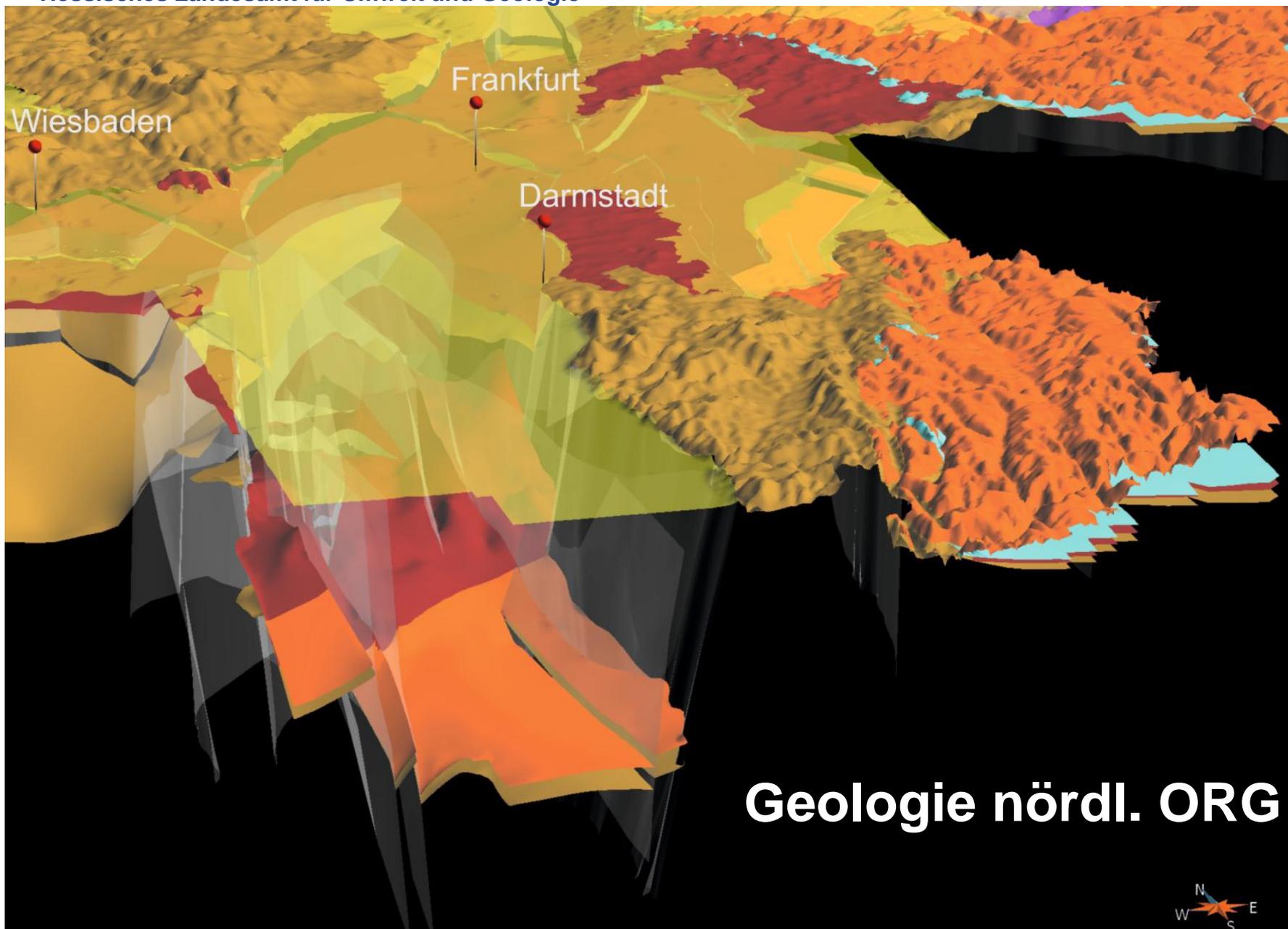


# Böden



Sehr komplexe Lagerungsverhältnisse

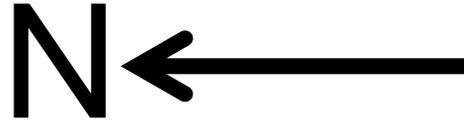
Bodenkarte 1:25.000, HLUG, modifiziert



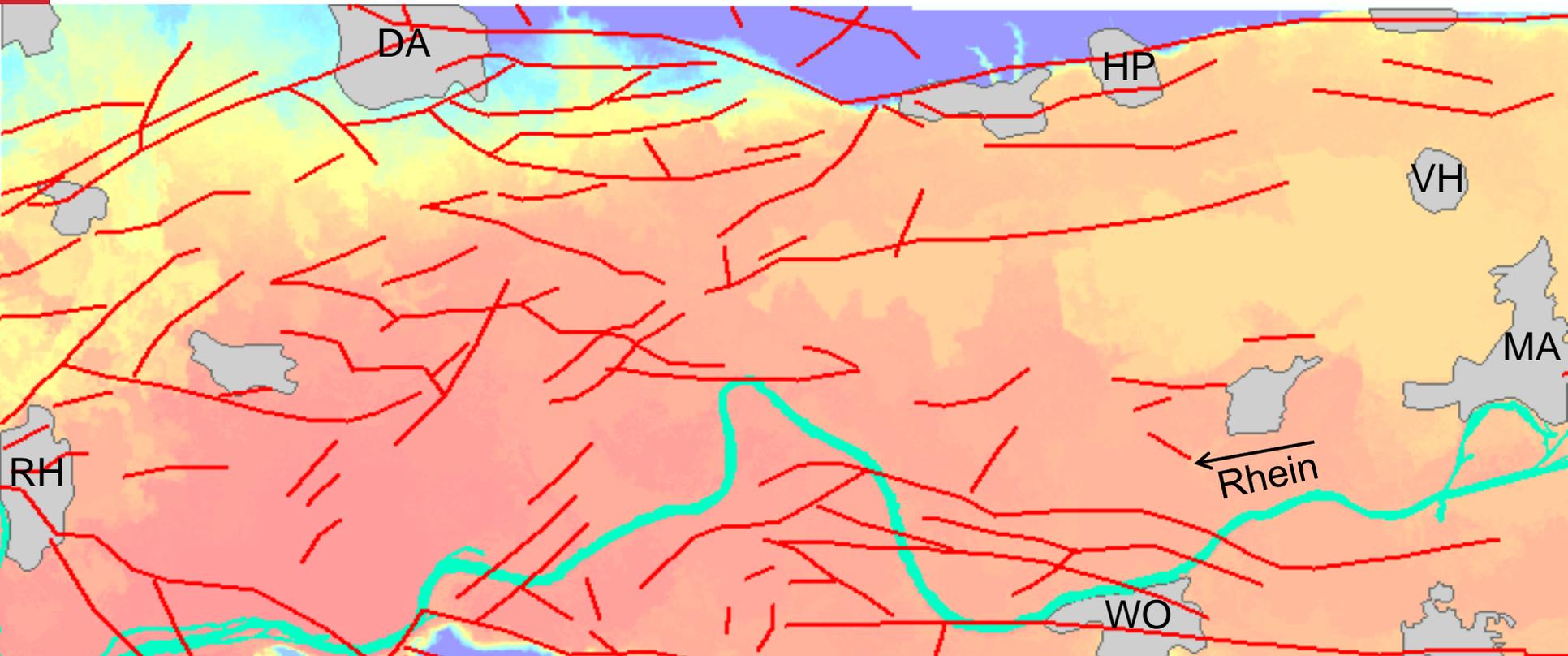
**Geologie nördl. ORG**

# Tektonik

Störungen im Projektgebiet

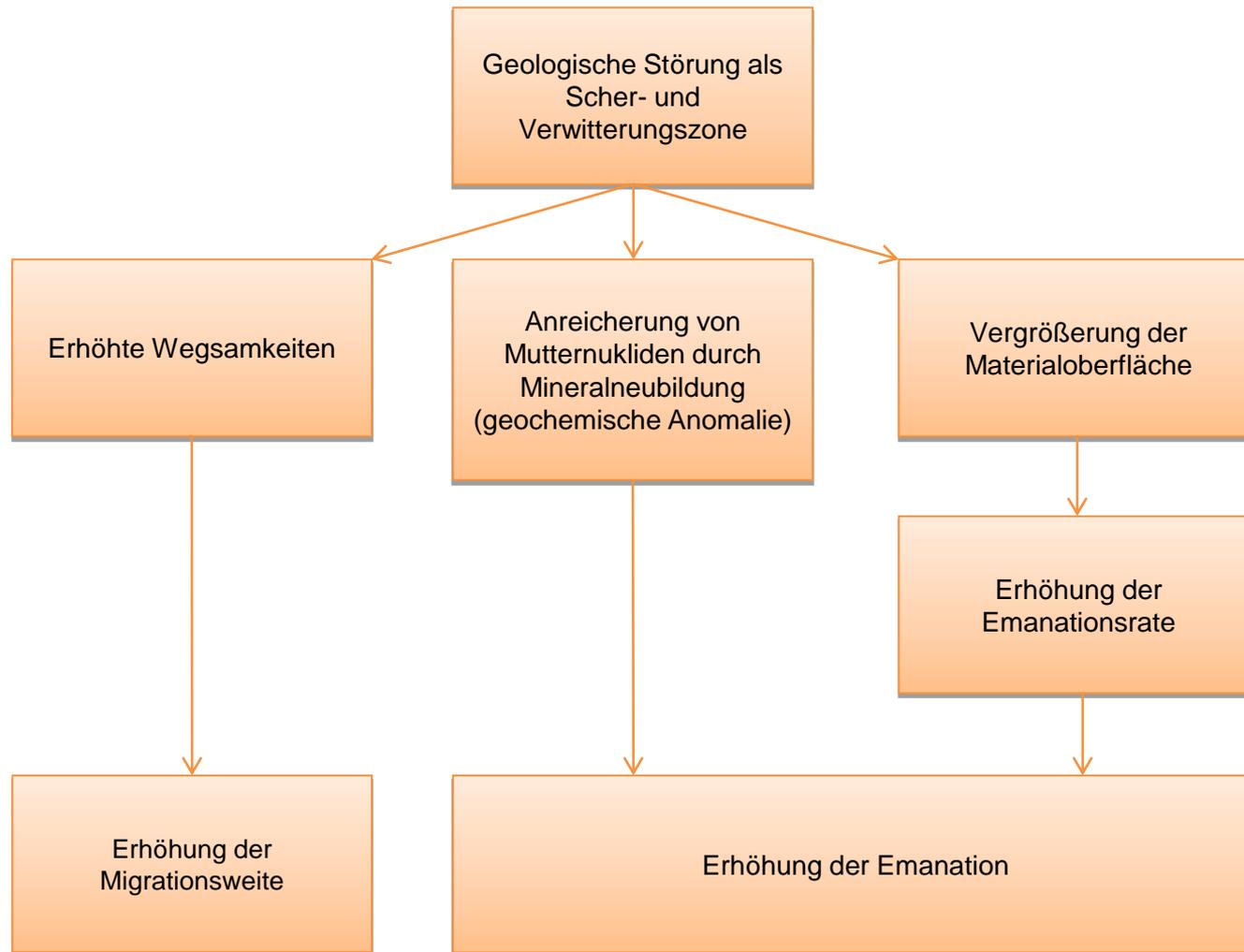


RH = Rüsselsheim    VH = Viernheim  
DA = Darmstadt    MA = Mannheim  
HP = Heppenheim    WO = Worms



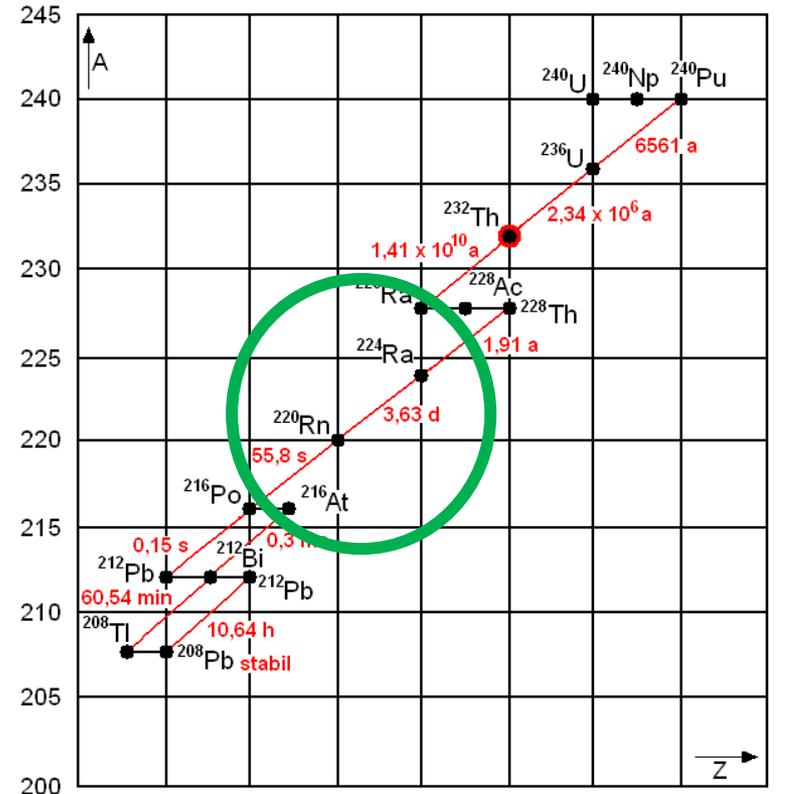
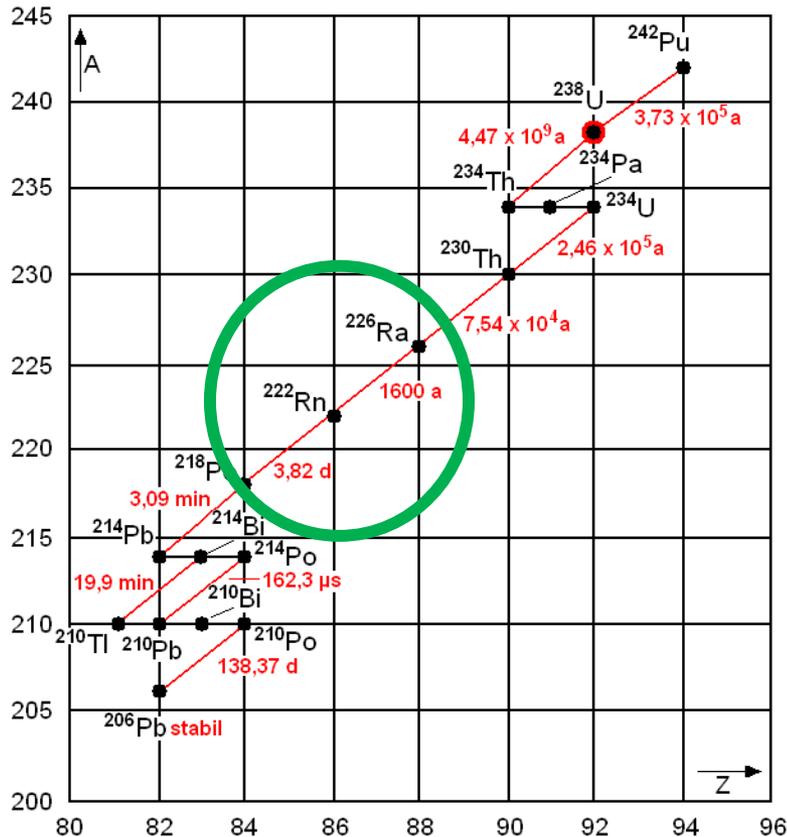
— Störung (modifiziert nach Peters 2007)

# Zusammenhang Radon / Störungen



# Radon Grundlagen

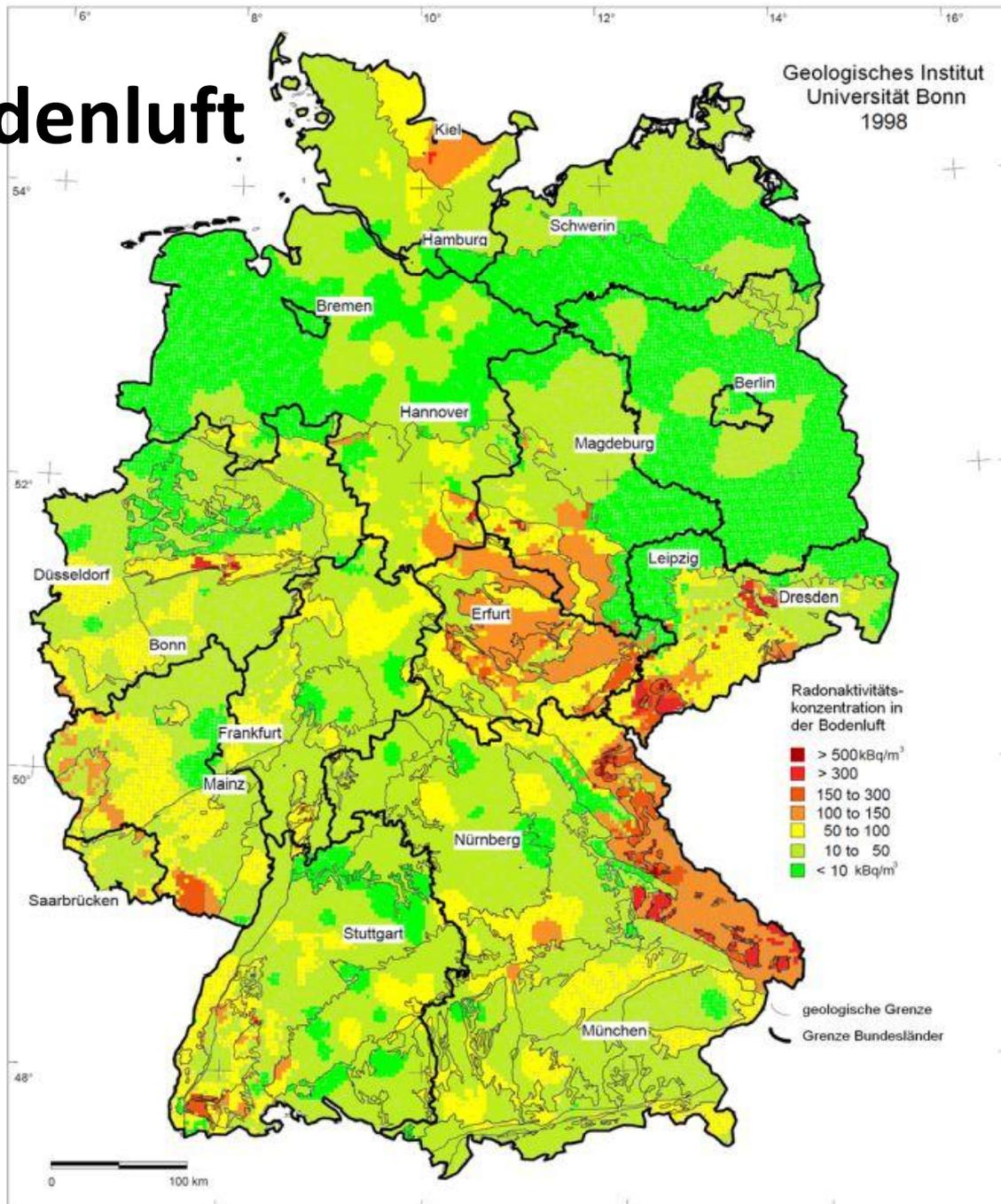
- Radioaktives natürlich vorkommendes Edelgas
- Entsteht als Zerfallsprodukt aus Zerfallsreihen Uran und Thorium
- Mutternuklide Th-232, Ra-226, Uran
- Maß für die Radonverfügbarkeit = Radonaktivitätskonzentration



# Radon in der Bodenluft

Geologisches Institut  
Universität Bonn  
1998

- 3 x3 km Raster
- Felder ohne Messwert interpoliert
- Aussagekraft gering
- Geologie und Böden nur untergeordnet berücksichtigt
- Lokale Werte nicht aus Karte ableitbar



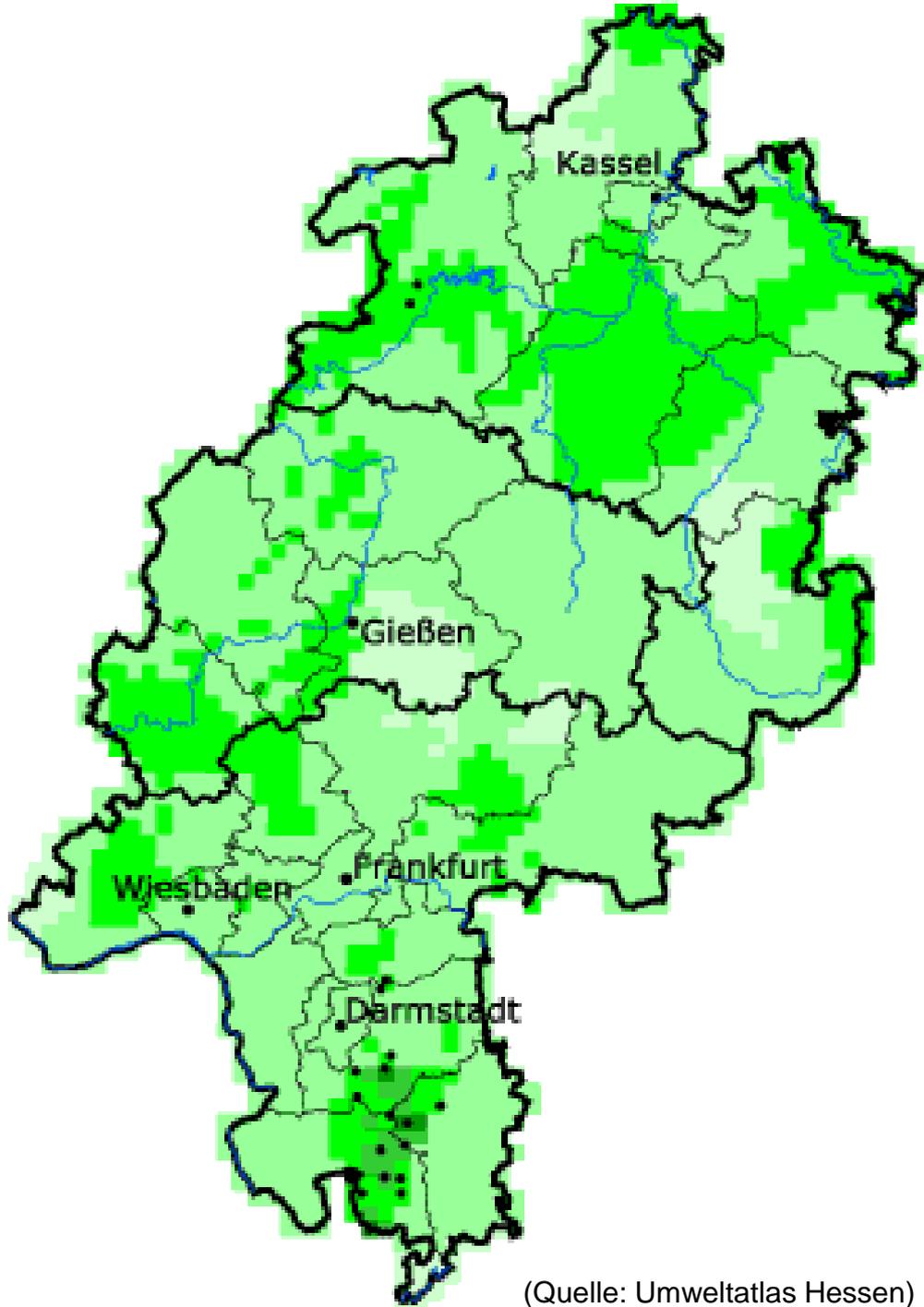
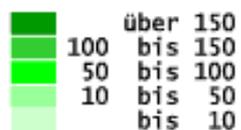
# Radon Bodenluft

## Hessen

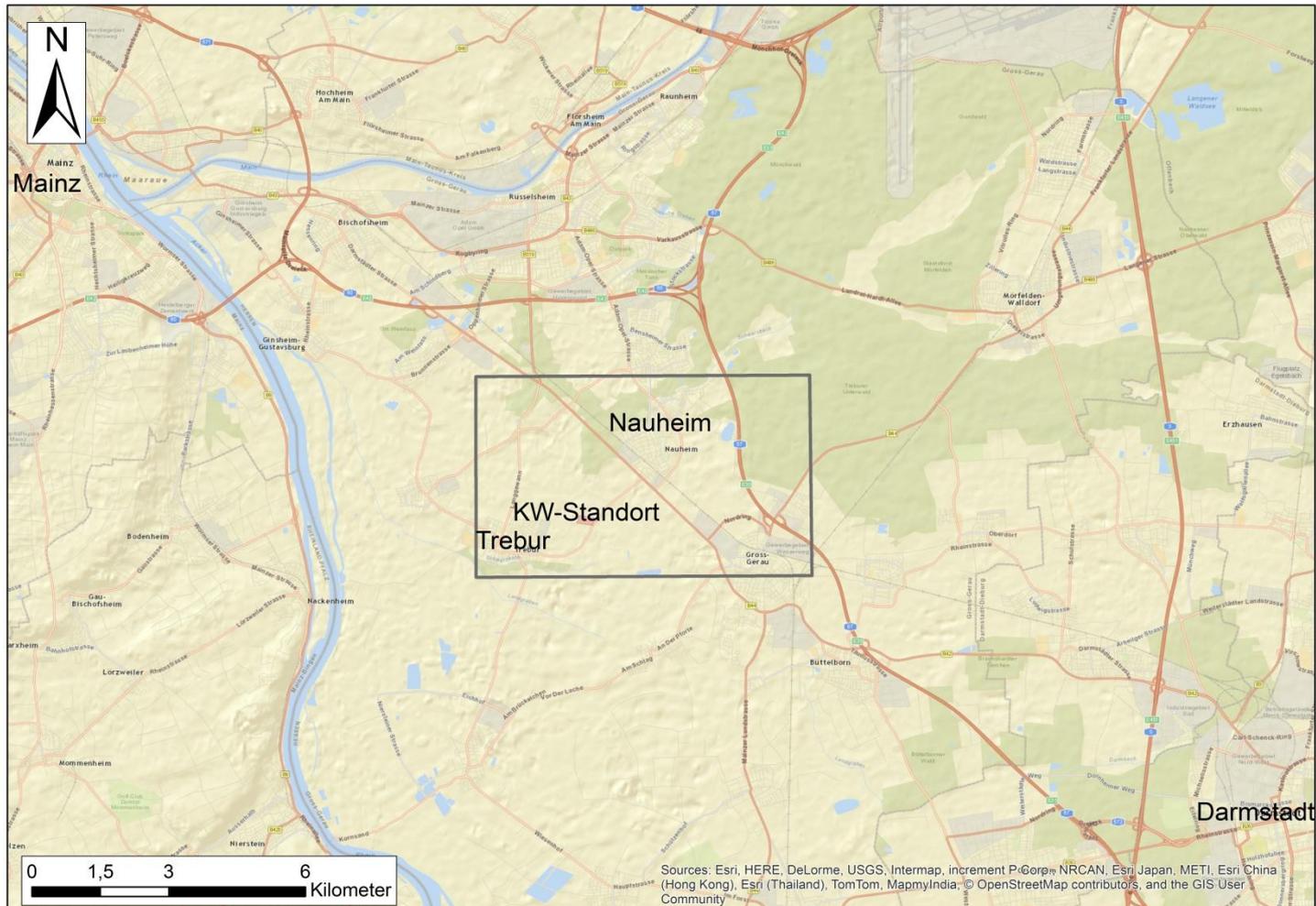
Radonaktivitätskonzentration  
in der Bodenluft in kBq/m<sup>3</sup>

□ Kreisgrenzen

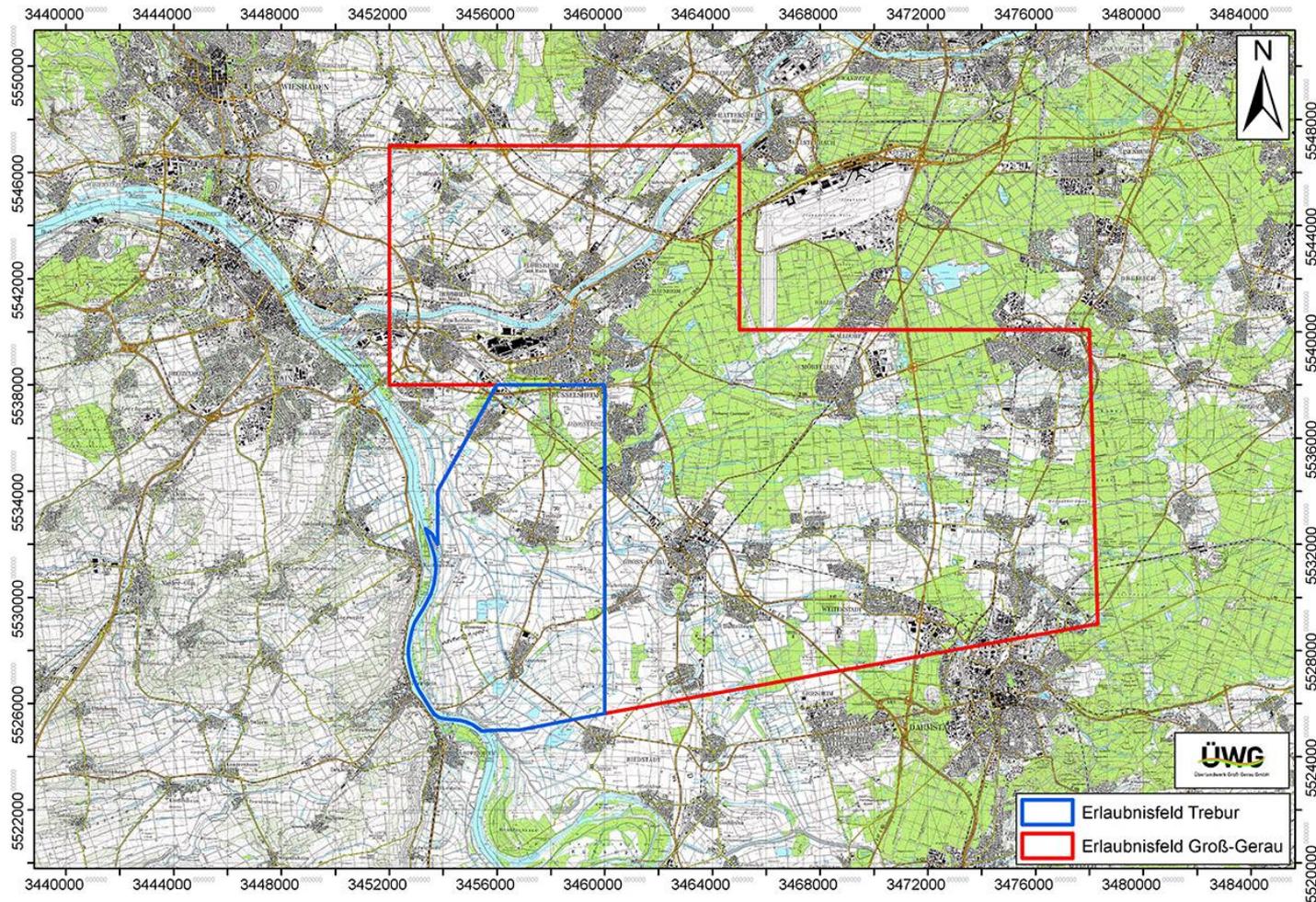
• Messorte



# Messungen Trebur



# Messungen Trebur

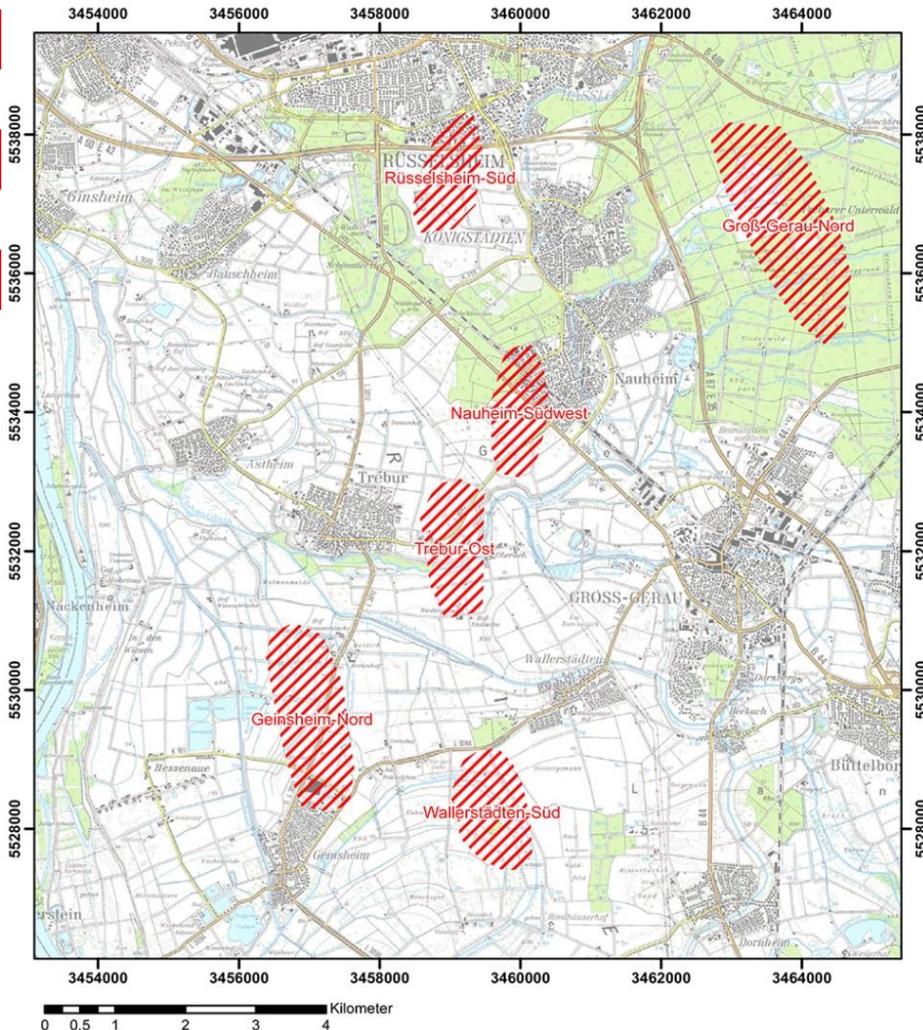


Feld GG:  
340 km<sup>2</sup>

Feld Trebur:  
78 km<sup>2</sup>

(Quelle: ÜWG)

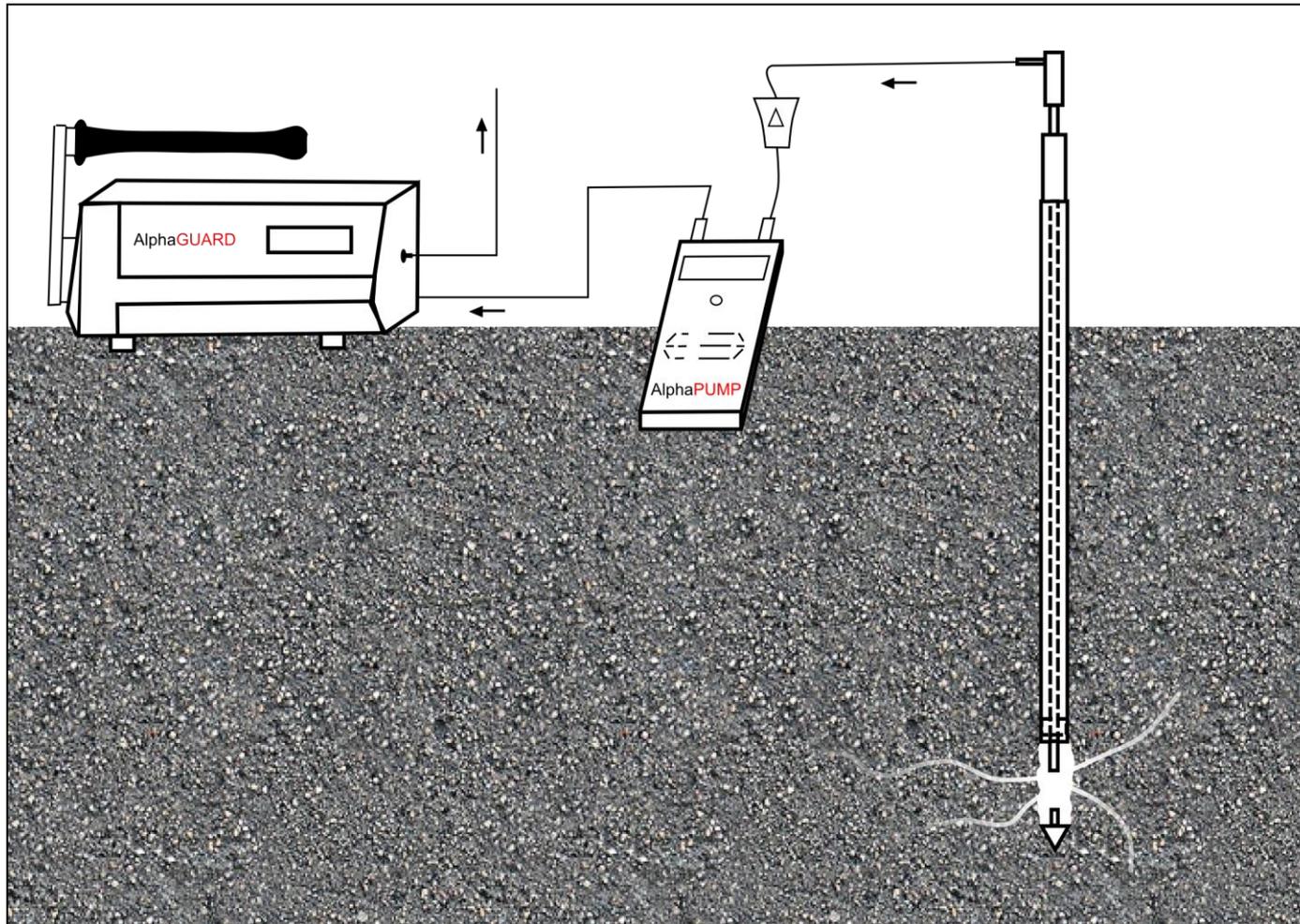
# Messungen Trebur



- Seismische, gravimetrische und weitere geophysikalische Messreihen
- 6 potentielle Standorte für mögliches Geothermiekraftwerk

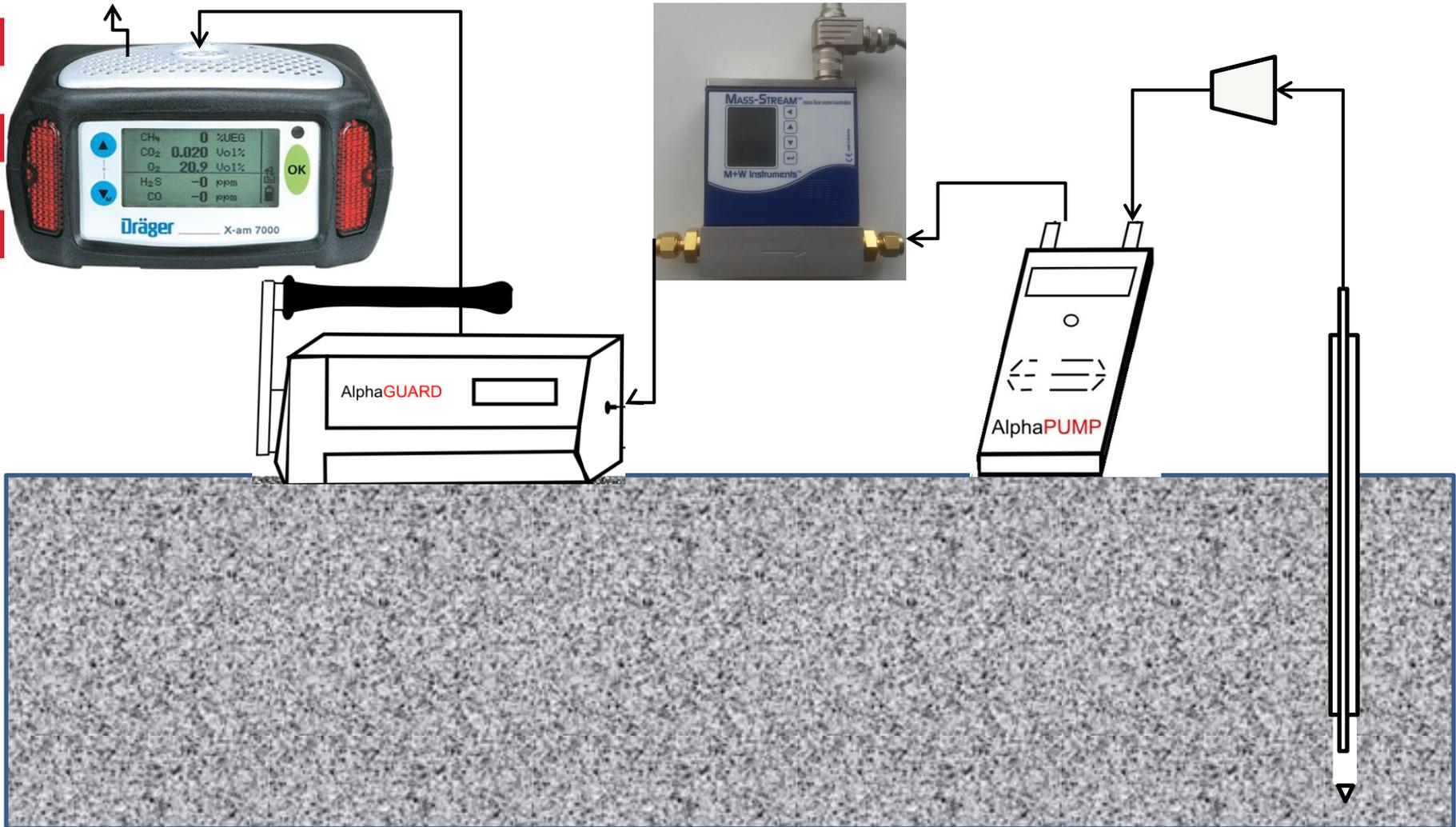
(Quelle: ÜWG)

# Bodenluftmessungen



Quelle: Verändert nach S.32 User Manual Portable Radon Monitor "AlphaGUARD" 12/98 (Quelle: Wewior, 2013)

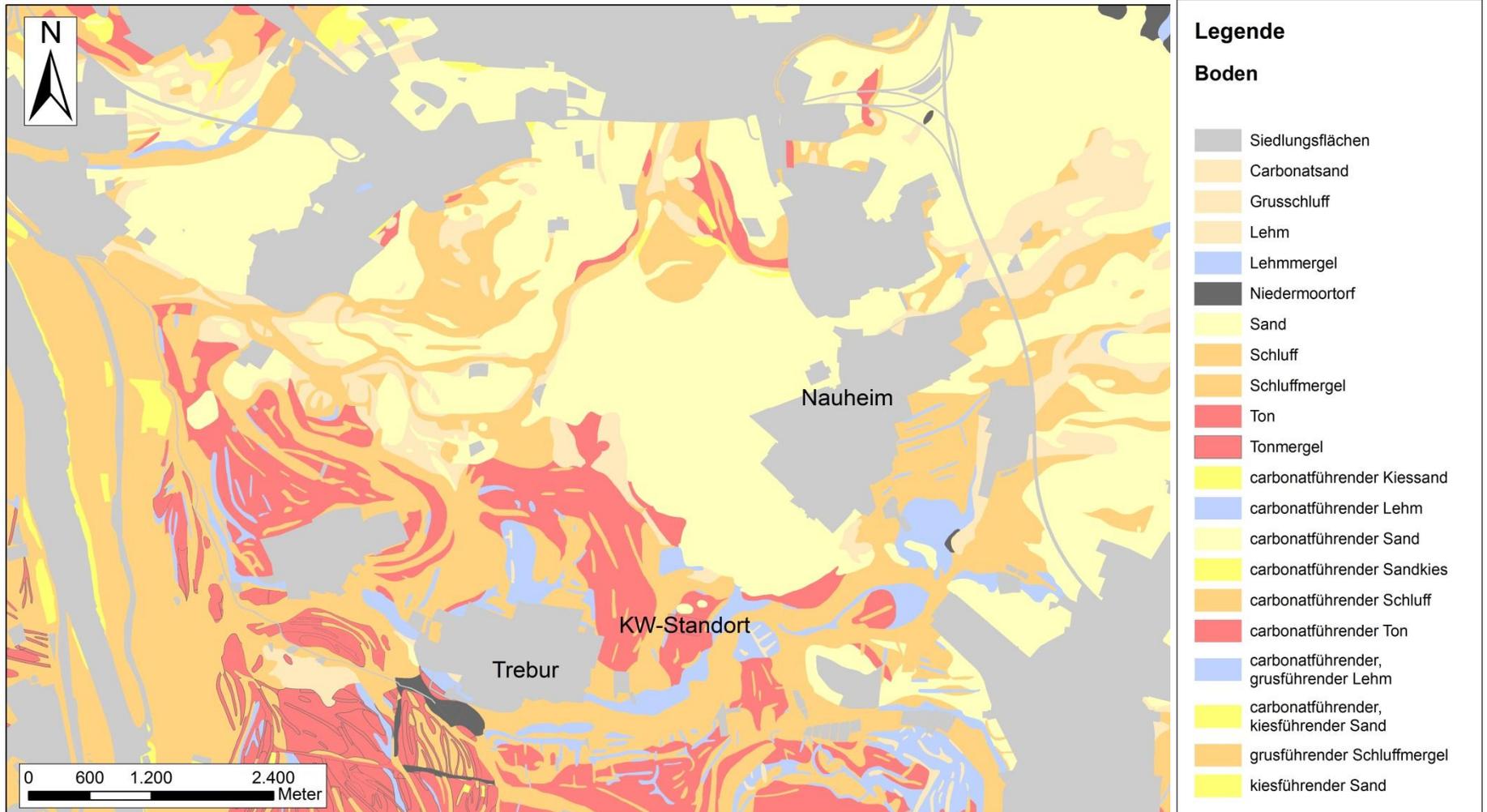
# Erweiterte Messanordnung Bodenluft



# Bodenluftmessungen

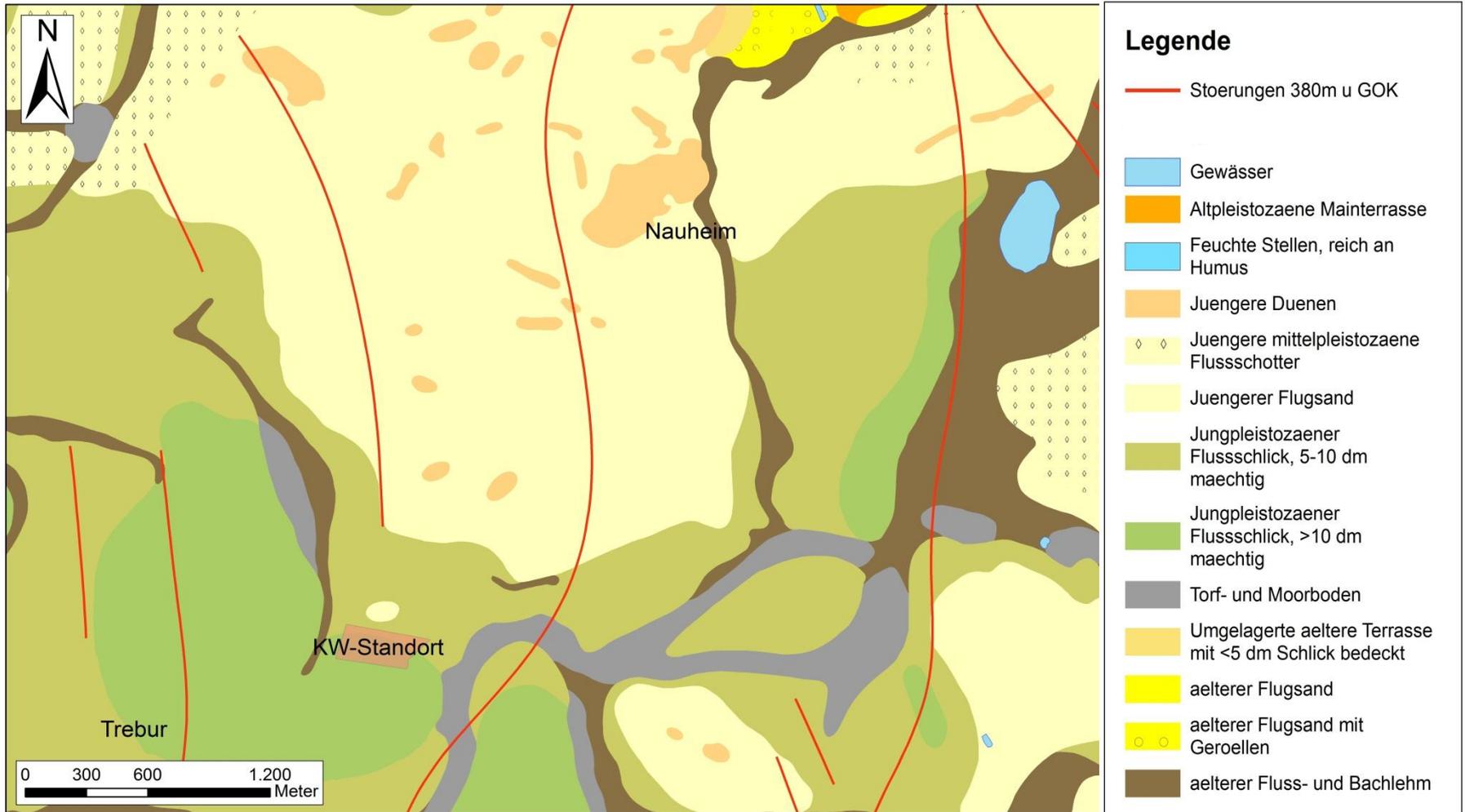


# Datengrundlage Boden



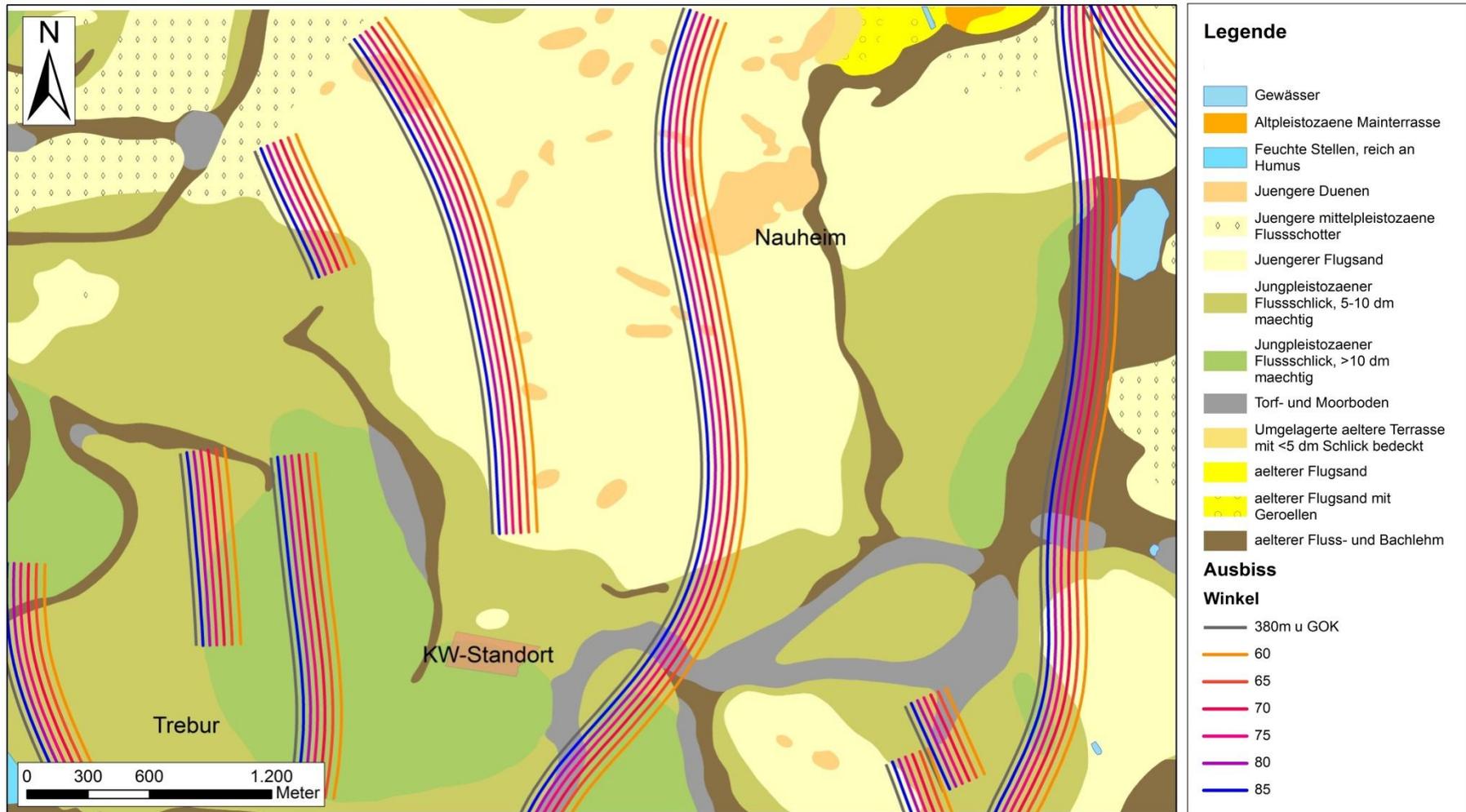
(Quelle: HLUG, BÜK 50, Weidner, 1990)

# Geologische Karte



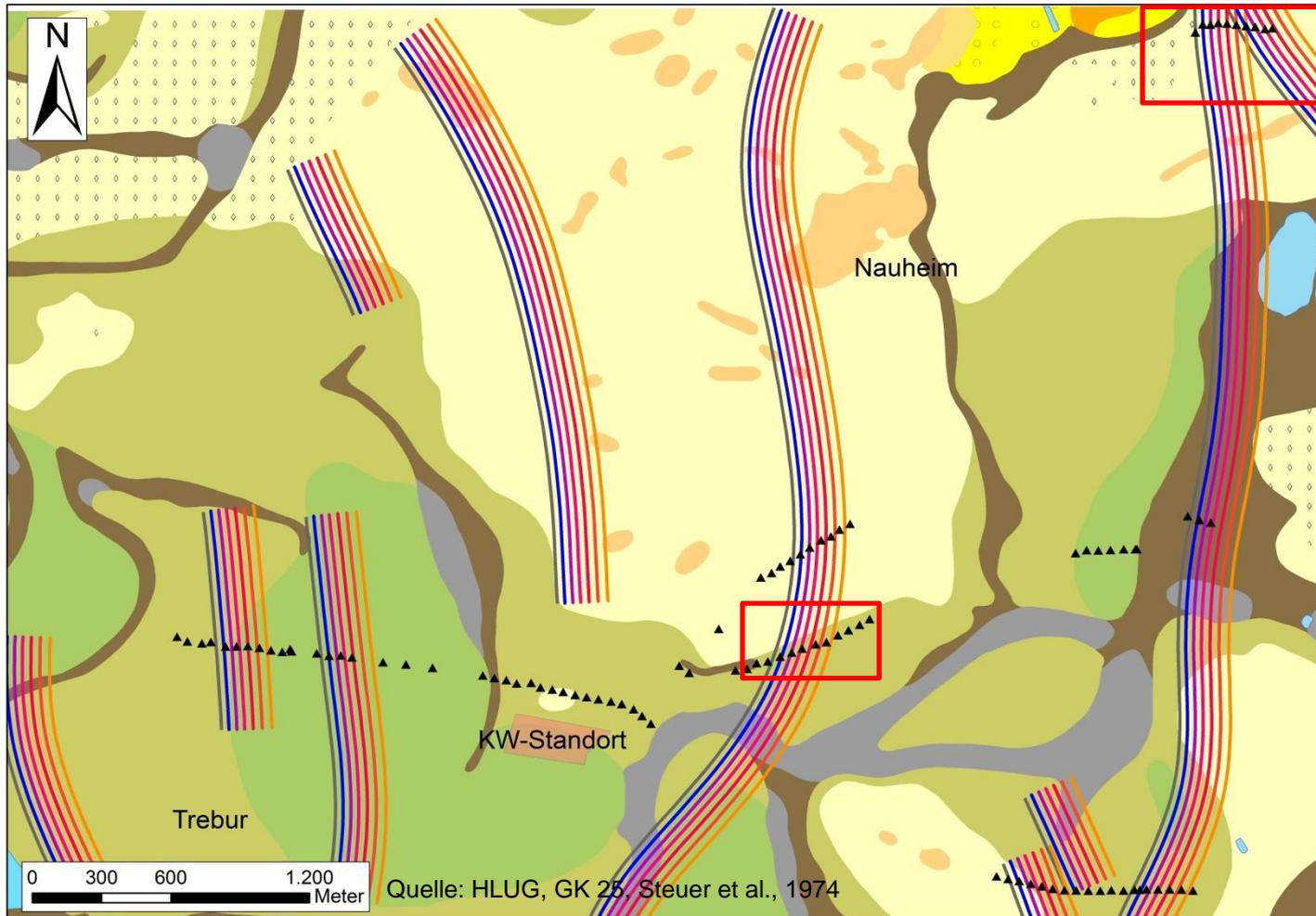
(Quelle: HLUG, GK 25, Steuer et al., 1974)

# Projizierter Störungsausbiss



(Quelle: HLUG, GK 25, Steuer et al., 1974)

# Messungen Trebur



## Legende

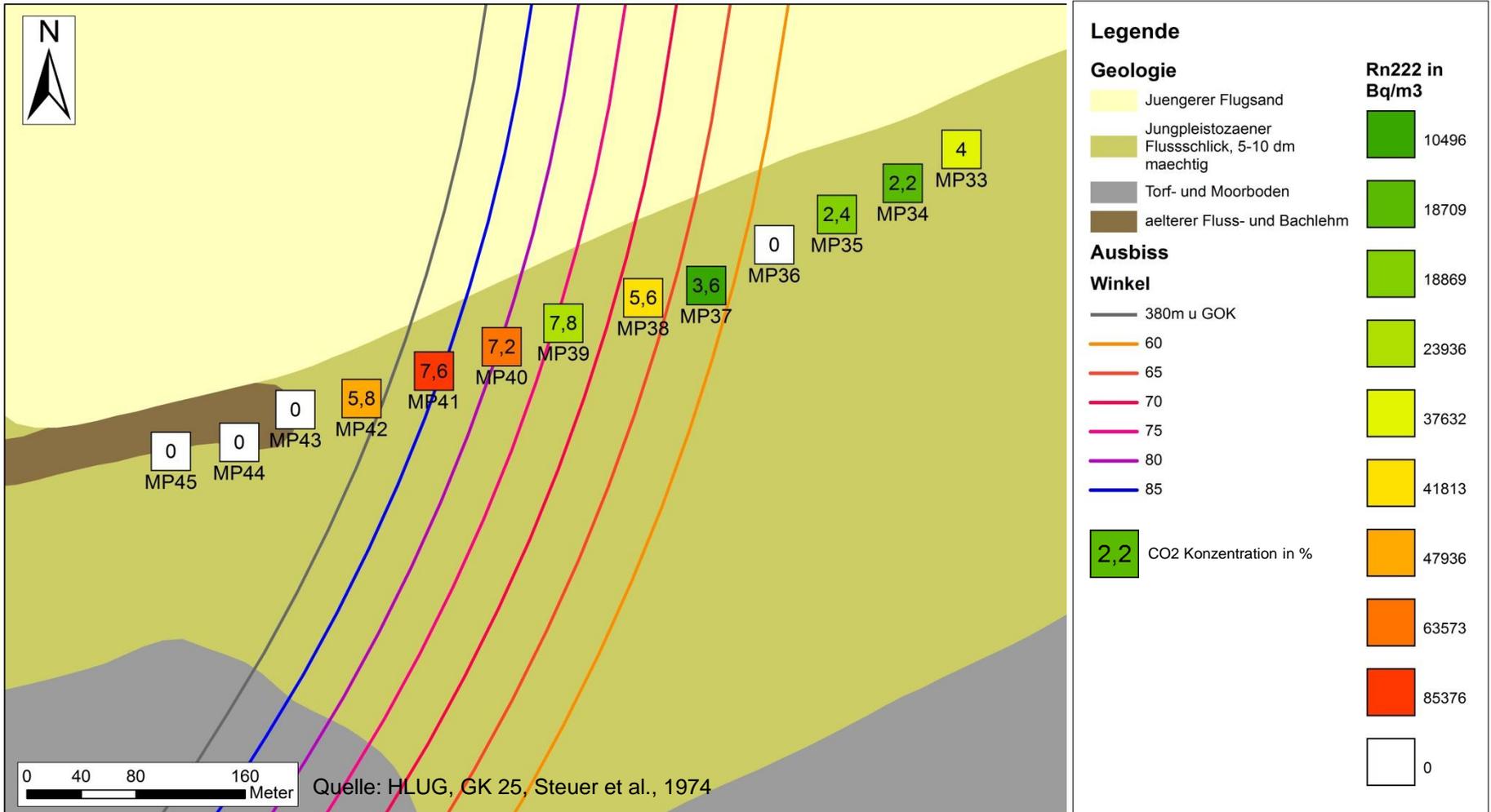
- Gewässer
- Altpleistozäne Mainterrasse
- Feuchte Stellen, reich an Humus
- Jüngere Duenen
- Jüngere mittelpleistozäne Flussschotter
- Jüngerer Flugsand
- Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig
- Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig
- Torf- und Moorboden
- Umgelagerte ältere Terrasse mit <5 dm Schlick bedeckt
- älterer Flugsand
- älterer Flugsand mit Geroellen
- älterer Fluss- und Bachlehm

## Ausbiss

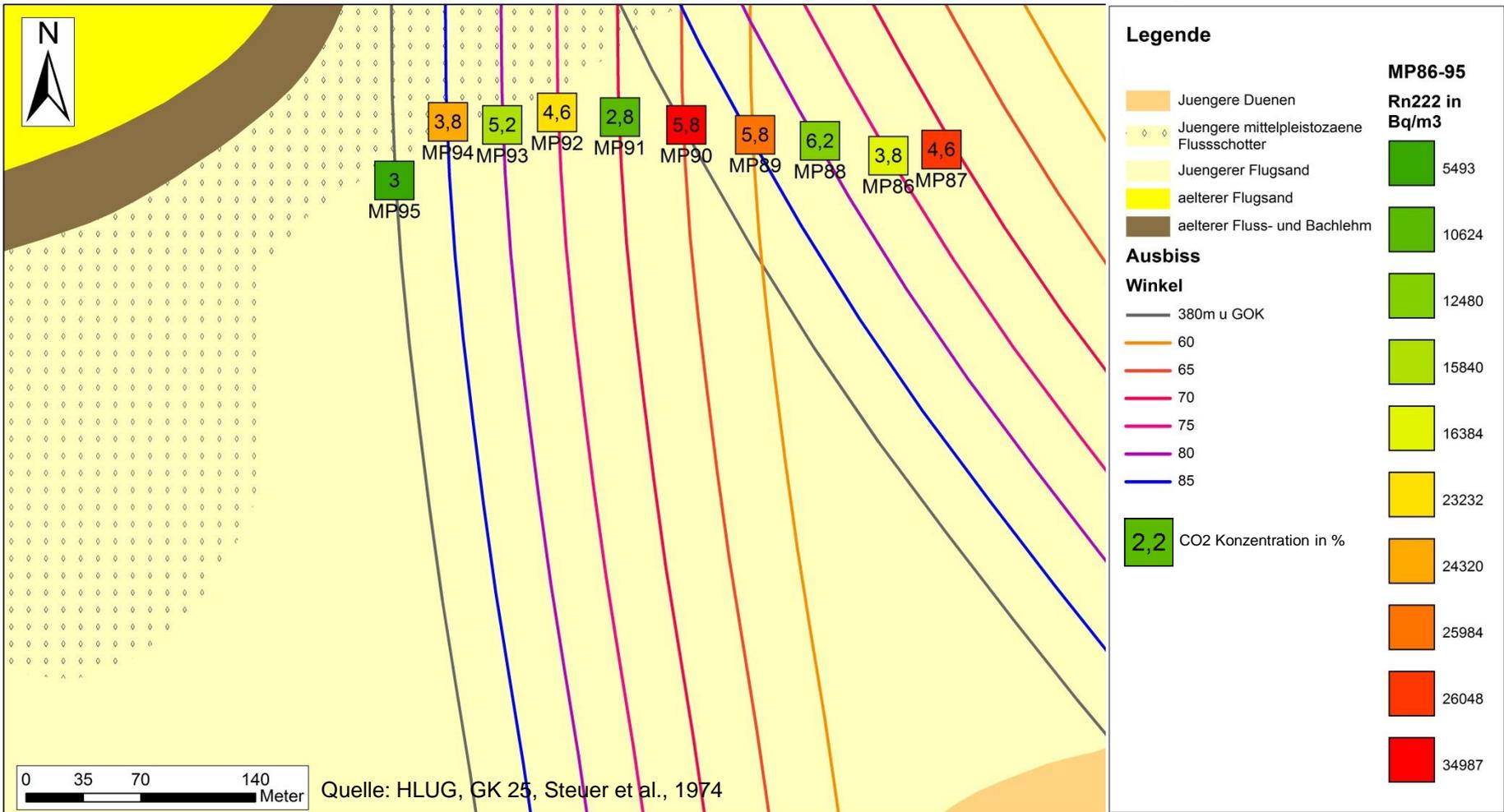
### Winkel

- 380m u GOK
- 60
- 65
- 70
- 75
- 80
- 85
- ▲ MP 1- 95

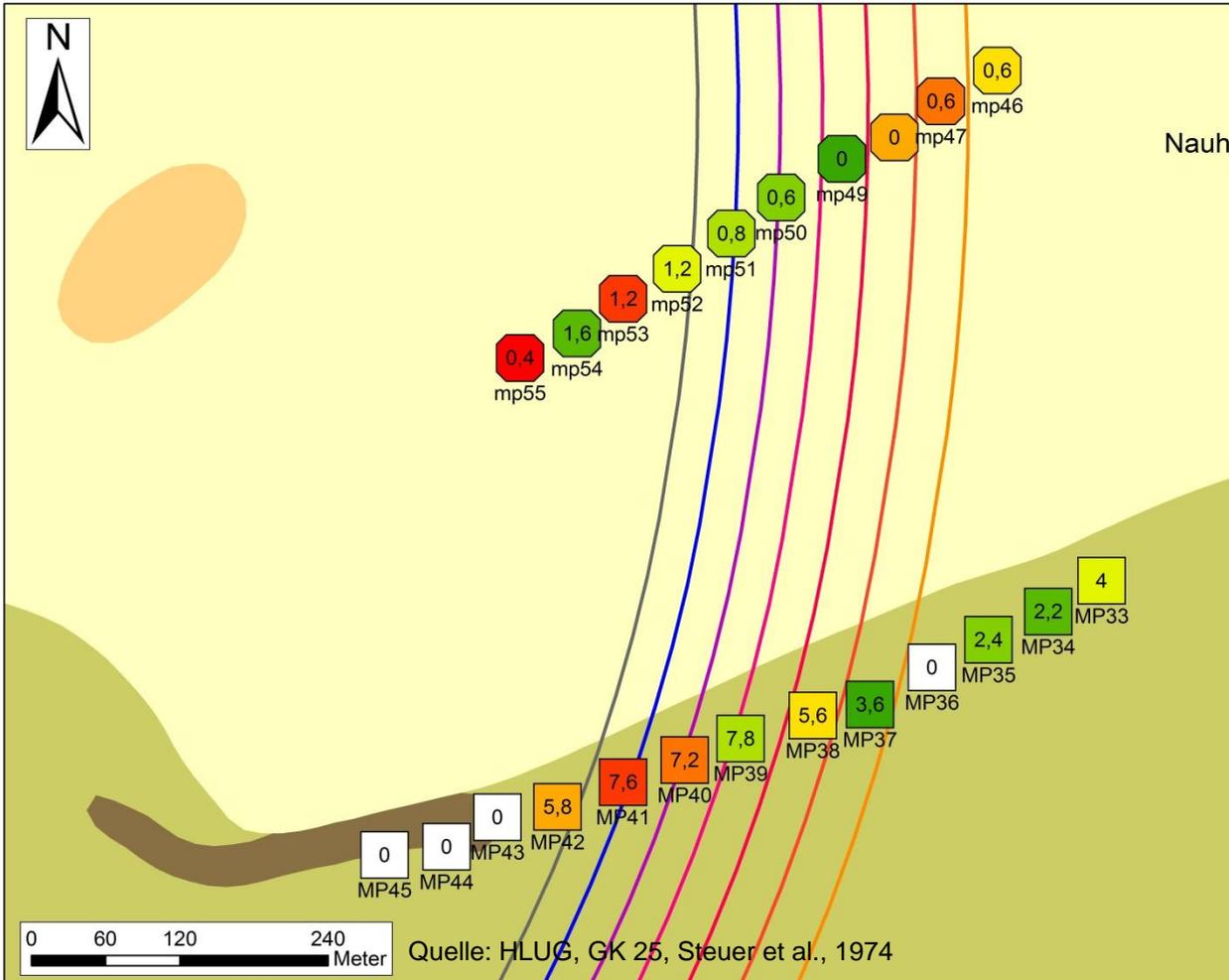
# Messungen Trebur- MP 33 – 45



# MP 86 - 95



# MP 33 - 55



## Legende

- Juengere Duenen
- Juengerer Flugsand
- Jungpleistozaeener Flussschlick, 5-10 dm maechtig
- Torf- und Moorboden
- aelterer Fluss- und Bachlehm

## Ausbiss

### Winkel

- 380m u GOK
- 60
- 65
- 70
- 75
- 80
- 85

Rn222 in Bq/m <sup>3</sup>	Rn222 in Bq/m <sup>3</sup>
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> 85	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> 10496
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> 3315	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> 18709
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> 3426	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid black;"></span> 18869
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span> 5312	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span> 23936
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span> 5584	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black;"></span> 37632
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffa500; border: 1px solid black;"></span> 8821	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffa500; border: 1px solid black;"></span> 41813
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff4500; border: 1px solid black;"></span> 10960	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff4500; border: 1px solid black;"></span> 47936
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black;"></span> 11056	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black;"></span> 63573
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black;"></span> 85376	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid black;"></span> 85376
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffffff; border: 1px solid black;"></span> 0	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffffff; border: 1px solid black;"></span> 0

# Analyse Bodenproben

Probe	A (Ra 226) [Bq/kg TM]	Gesamtanalysenfehler [Bq/kg TM]
Ref 1	24,4	2,6
MP 02	26,9	2,3
MP 03	33,9	2,5
MP 04	26,3	3,2
MP 05	27,1	2,4
MP 06	22,6	2,5
MP 07	33,3	2,1
MP 08	15,7	3,1
MP 09	30,6	1,5
MP 10	37,5	2,8
MP 11	-	3,5
MP12	36,1	-
MP 13	43,6	3,4
MP14	22,8	4,1
MP 15	23,9	2,1
MP 16	25,6	2,2
MP 17	28,9	2,4
MP 18	32,1	2,7
MP 19	27,4	3,0
MP 20	20,9	2,5
MP 21	18,5	1,9
MP 22	28,9	1,7
MP 23	29,8	2,7
MP 24	32,1	2,8
MP 25	26,0	3,0
MP 26	40,3	2,4
MP 27	17,7	3,7
Ref KW	27,6	1,6

# Bewertung der Messergebnisse

- Ra-226 Aktivität der Bodenproben
    - zwischen 17,7 Bq/kg TM (MP 27) und 43,6 Bq/kg TM (MP 13);
    - Mittelwert von 28,64 Bq/kg TM
  - Liegen im üblichen Bereich für Radium-226 in Böden
  - Keine Ausreißer nach oben oder unten
  - Bundesamt für Strahlenschutz:
    - Sand 1 – 39 Bq/kg (Mw 15 Bq/kg)
    - Ton/Lehm von <20 – 90 Bq/kg (Mw < 40 Bq/kg)\*
- (Haller, 2014)

# Ergebnisse Radon- und CO<sub>2</sub>- Messungen

- Tendenz zu erhöhten Radonwerten in der Störungszone
- Radonwerte zeigen deutliche Abhängigkeit zur Bodenart: je kleiner Kornfraktion und geringer die Permeabilität, desto höhere Werte
- Tendenz zu erhöhten CO<sub>2</sub> – Werten in der Störungszone
- Keine Abhängigkeit des CO<sub>2</sub> – Wertes von der Bodenart erkennbar

# Offene Fragen

## Methodisch

- Kombination verschiedener Detektoren, Bodengase/Permeabilität, Berücksichtigung FlowMeter → integrierten Messvorrichtung
- Entwicklung von Messstandards

## Wissenschaftlich

- Ableitung Aktivität Störungen
- Einfluss Bodentypen auf Radonkonzentration
- Korrelation von Boden- und Raumluft in störungsaktiven Gebieten
- Differenzierung geogenes/anthropogenes Radon
- Störungsverläufen in oberflächennahen Lockersedimenten

# Weitere Schritte Messungen

- Korrelation Radiummessungen mit Radonwerten
- Abschätzung des in situ Radonpotentials , Aufstieg Radon aus größeren Tiefen
- Integration FlowMeters, bessere Vergleichbarkeit der Messungen
- Messungen in der Region Kelsterbach
- Integration der Messungen aus der Region Egelsbach (Wewior, 2013)
- Ziel: besseres Verständnis über die rezente Aktivität der Störungen in nördlichen ORG

**Danke!!**

# Radon in der Raumluft

- Nach Rauchen zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs
- Auswirkung auf Sterblichkeit, linearer Anstieg mit Konzentration
- Hohen Dosen  $< 30.000 \text{ Bq/m}^3$  über kurze Zeit zur Rheumatherapie

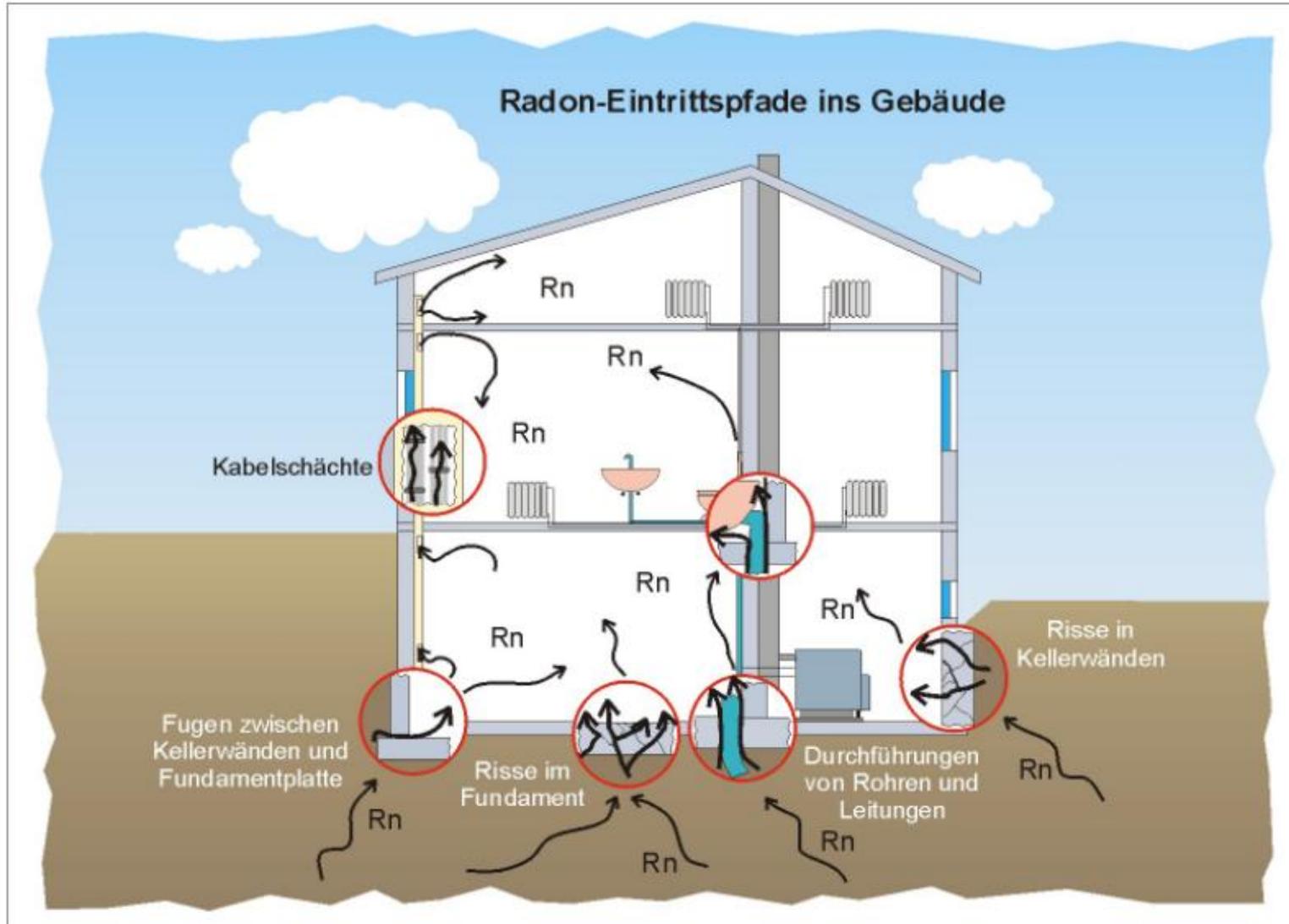
## Absolutes Risiko...

...bis zum Alter von 75 Jahren an Lungenkrebs zu versterben für:

	0 Bq/m <sup>3</sup>	800 Bq/m <sup>3</sup>
Lebenslange Nichtraucher	0,4 %	0,7 %
Raucher (15-24 Zigaretten pro Tag bis zum 30. Lebensjahr)	2,3 %	3,7 %
Raucher (15-24 Zigaretten pro Tag bis zum 50. Lebensjahr)	4,3 %	7,2 %
Raucher (15-24 Zigaretten pro Tag bis zum 75. Lebensjahr)	10,4 %	16,9 %

Quelle: Brüske-Hohlfeld, 2006

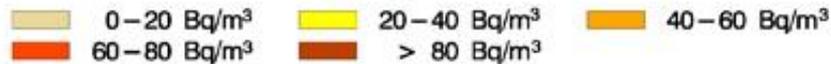
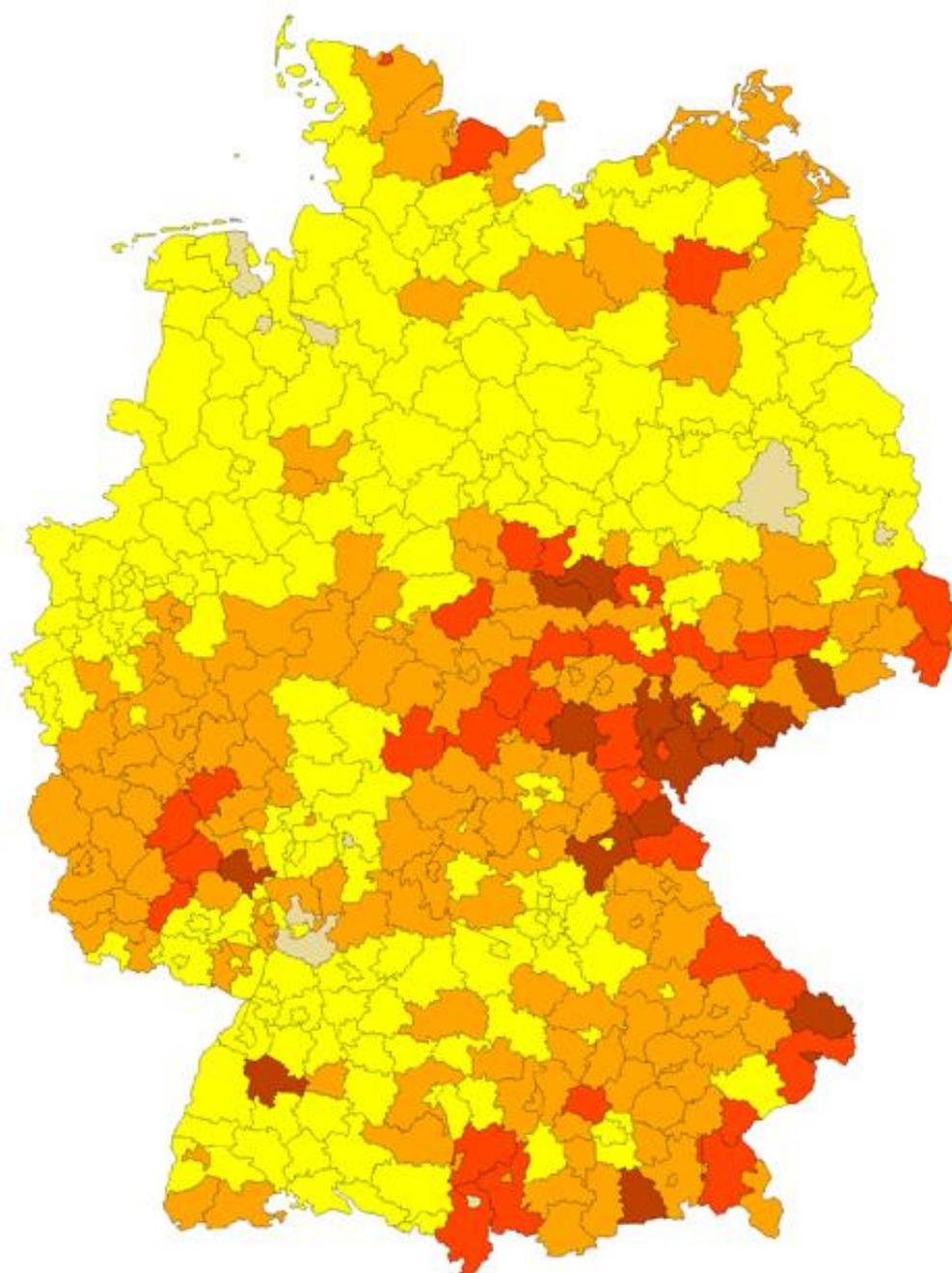
# Radon in der Raumluft



Schemazeichnung der Eintrittspfade für Radon in Gebäude (Kemski & Partner, 2004)

# Radon in der Raumluft

## Deutschland



Übersichtskarte über die, in einem Wohngebäude zu erwartende, durchschnittliche Radonbelastung nach Landkreisen gegliedert. (Mentzler et al., 2006)

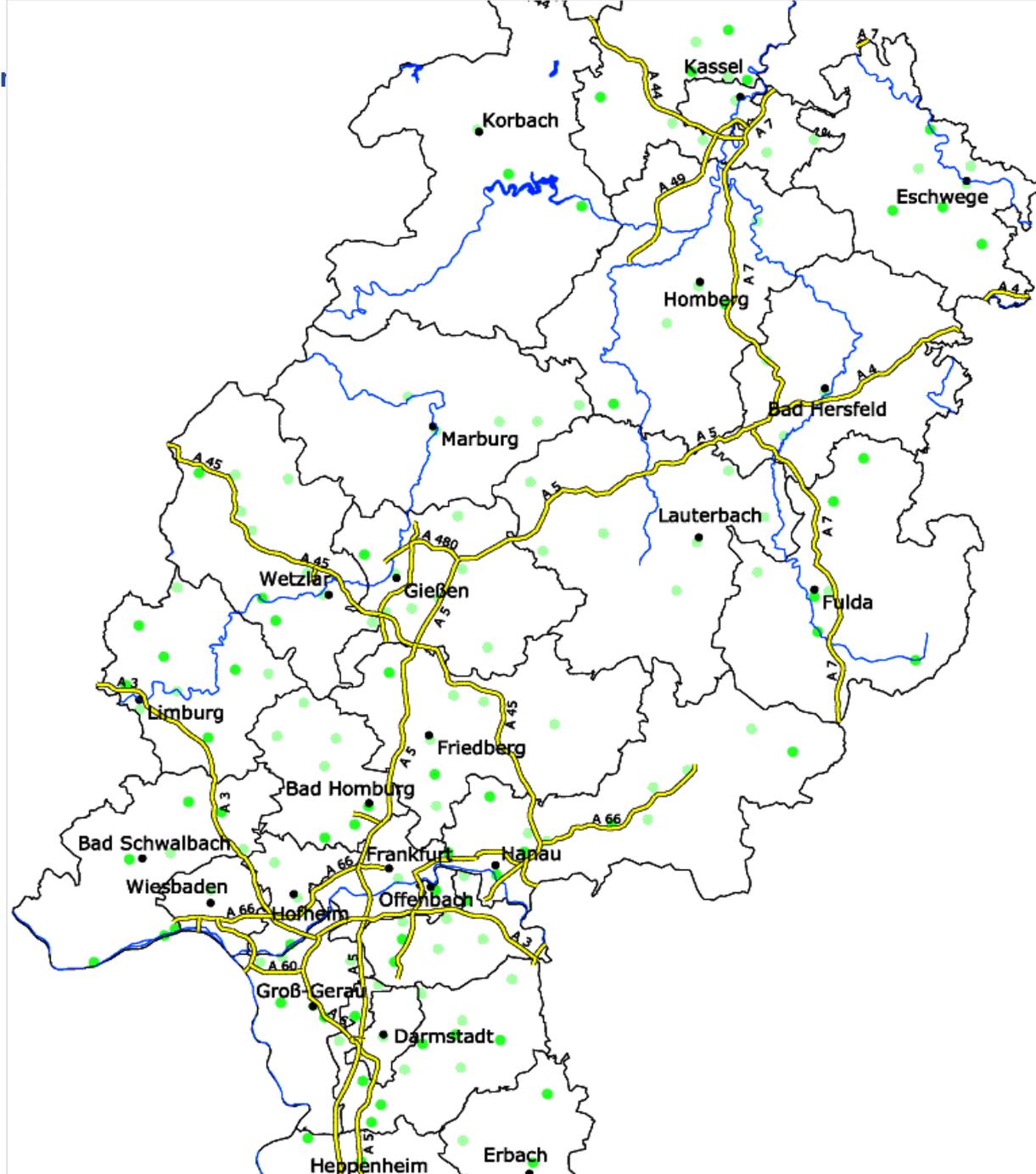
# Radon in Gebäuden

## Hessen

Radonkonzentration  
in Gebäuden  
in Bq/m<sup>3</sup>

- über 1000
- 251 bis 1000
- 51 bis 250
- bis 50

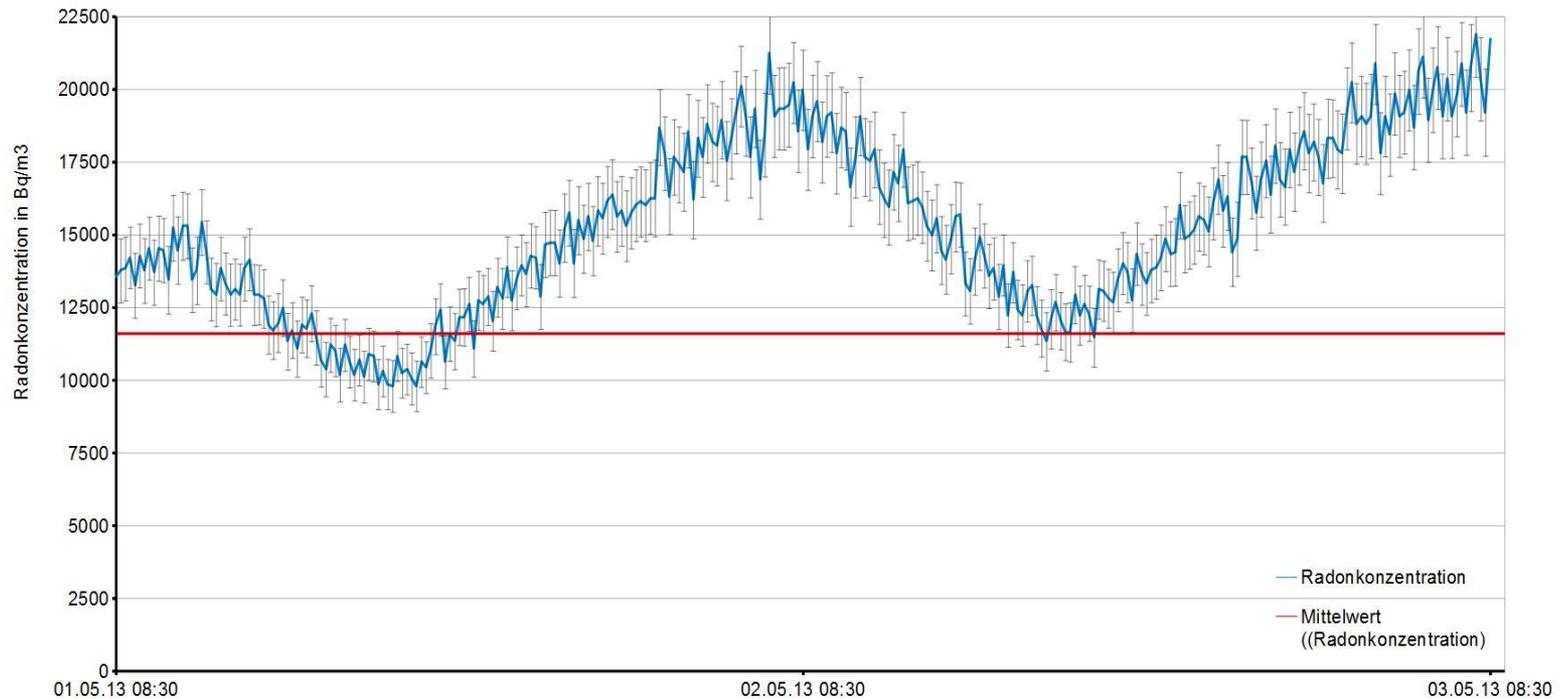
□ Kreisgrenzen



# Messungen darmstadtium

Ort	Höchstwert in Bq/m <sup>3</sup>	Mittelwert in Bq/m <sup>3</sup>
Störungsmessraum	21.888	11.607
Technikraum neben Störungsmessraum	9.865	6.081
Foyer an historischer Stadtmauer	187	15

Raumluftmessung Darmstadtium - Störungsmessraum



(Quelle: Hoppe et al., 2014)

# Oberflächendeformation



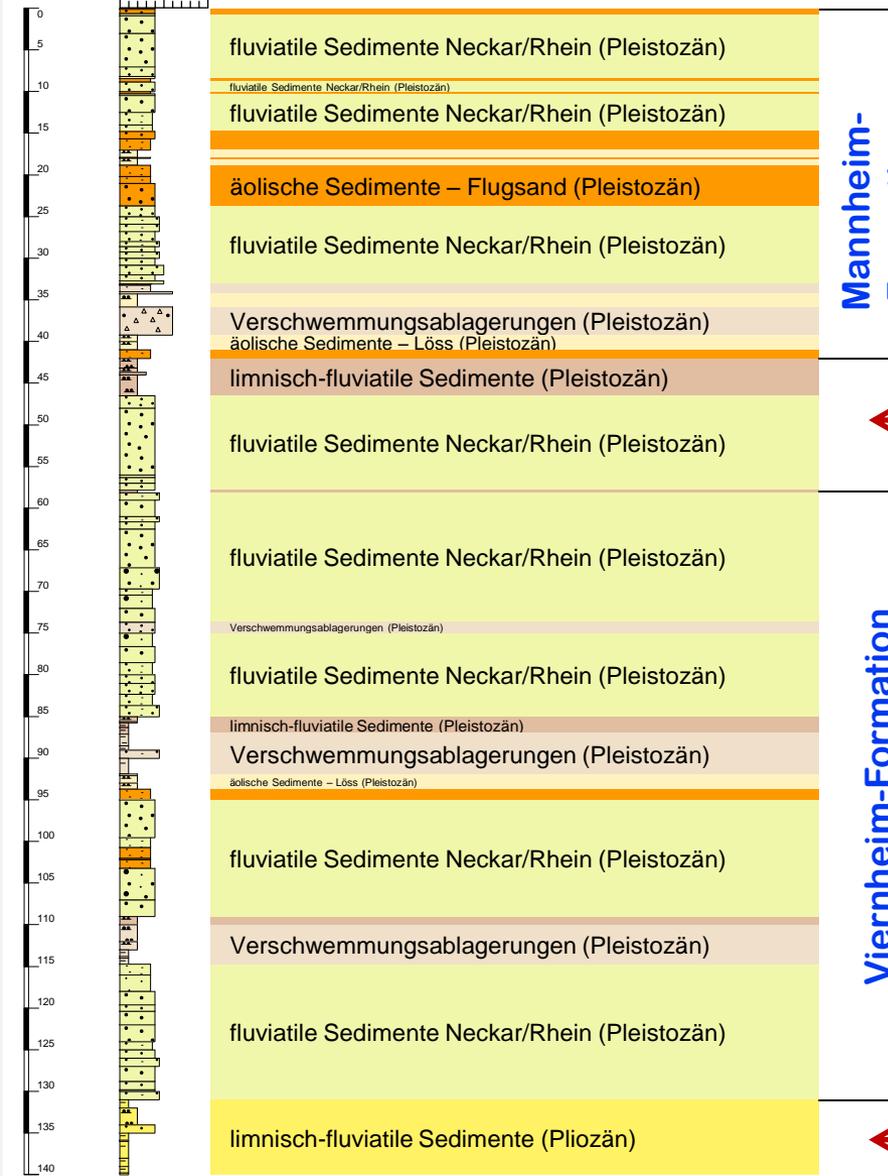
(Post 2013)

Subsidenz bis zu 10 mm/Jahr

# Heterogene Ablagerungen

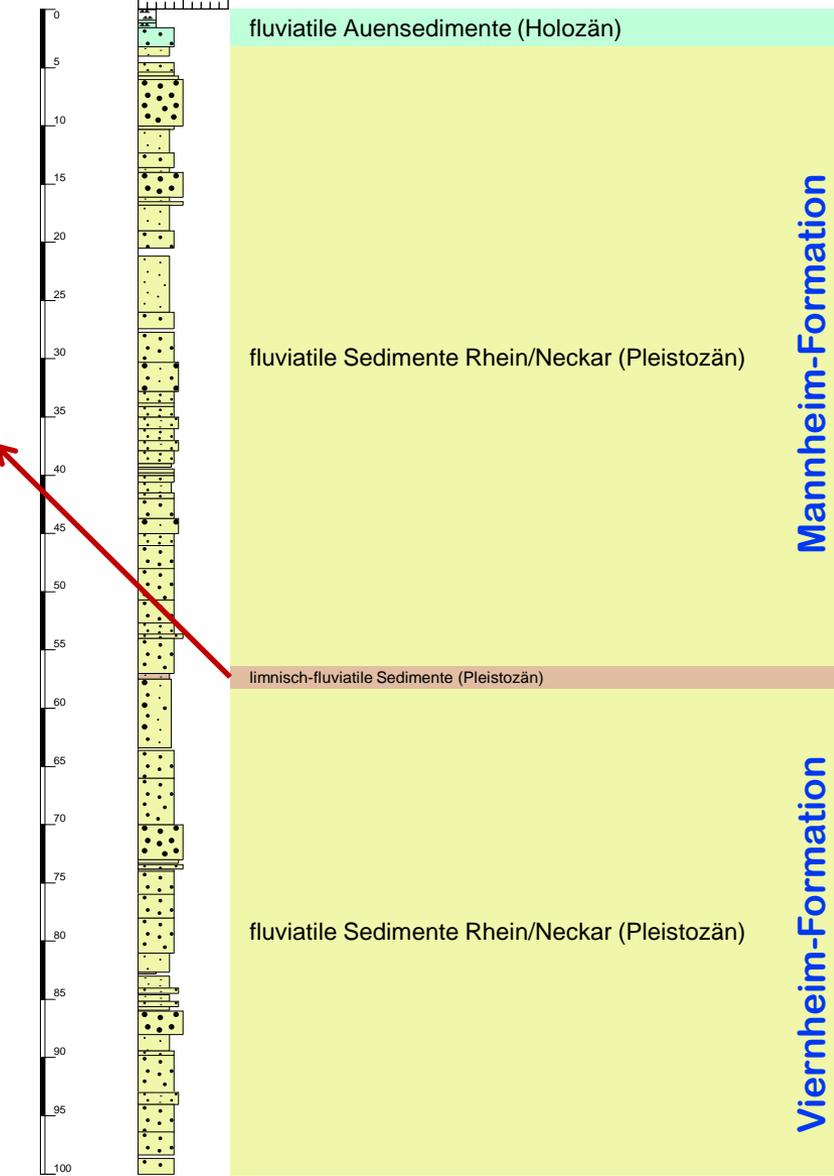
9063 WW Pfungstadt GWM 1.3 SWP-PF-H03

Bohransatzhöhe  
105,73 m NN

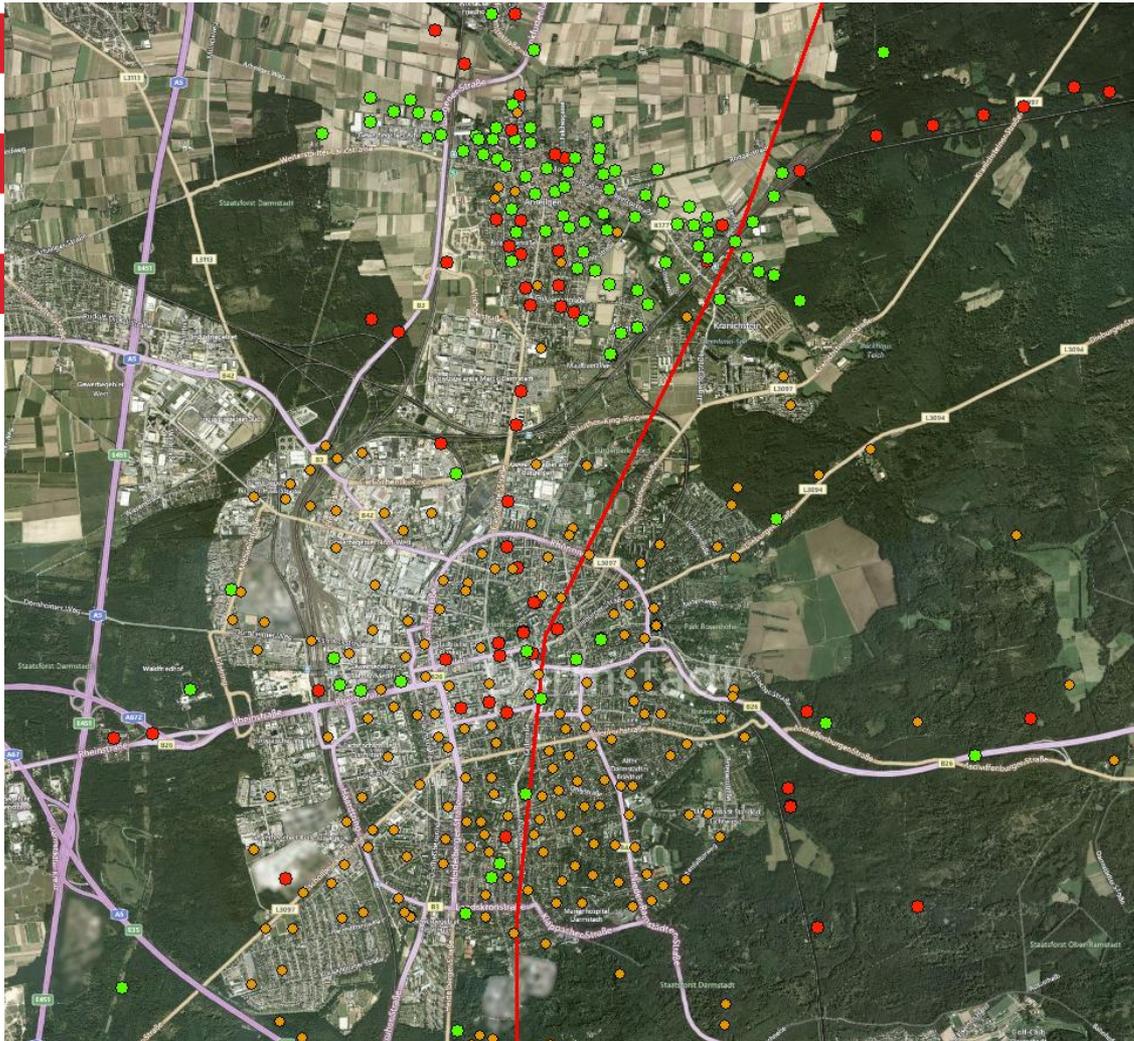


9016 FB Geinsheim BK 1

Bohransatzhöhe  
85,00 m NN



# Geodynamik Darmstadt



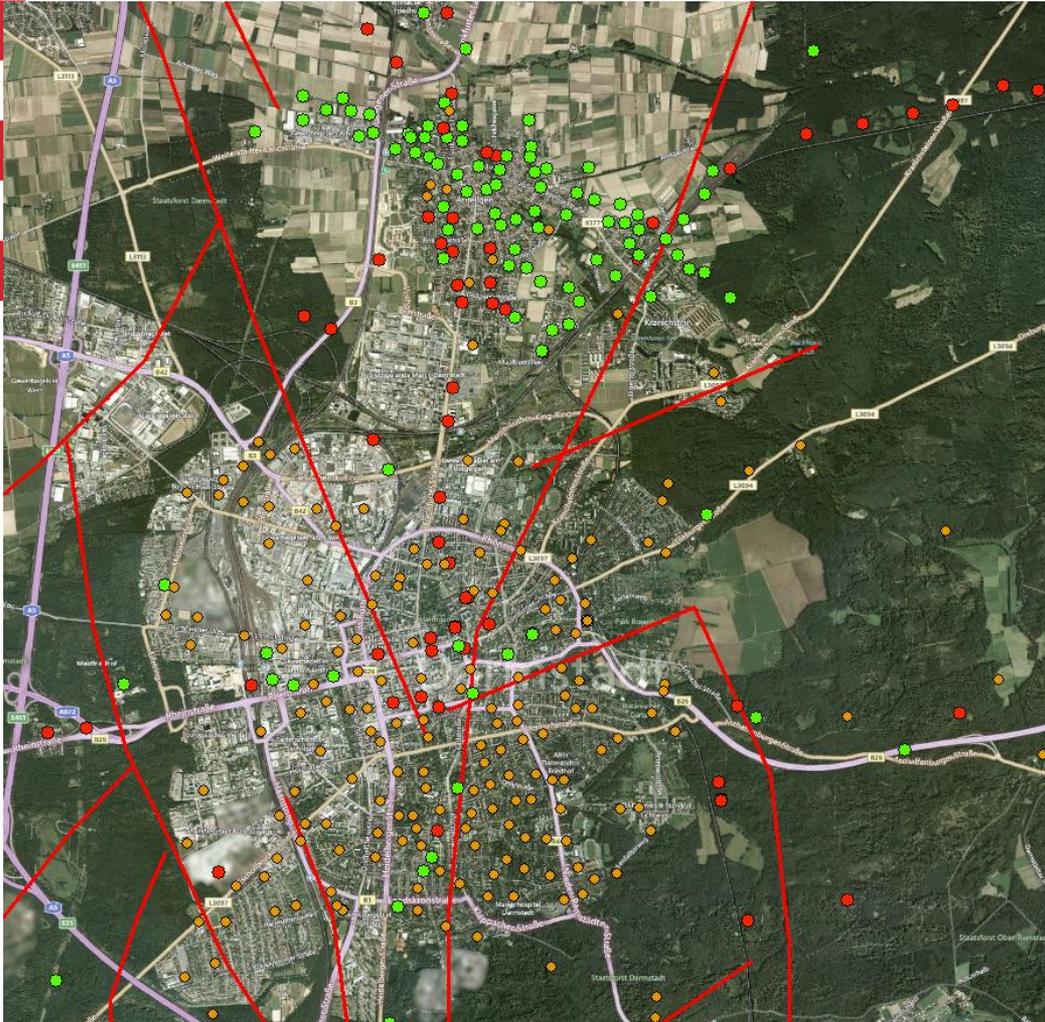
- Darmstadt
- Ar\_Da\_Eb\_Wx\_nivp\_wl
  - ◆ <all other values>
- Bewegung
  - Hebung
  - Senkung

Schwankungsbreite

-42 mm/a - +50 mm/a

2 km

# Geodynamik Darmstadt

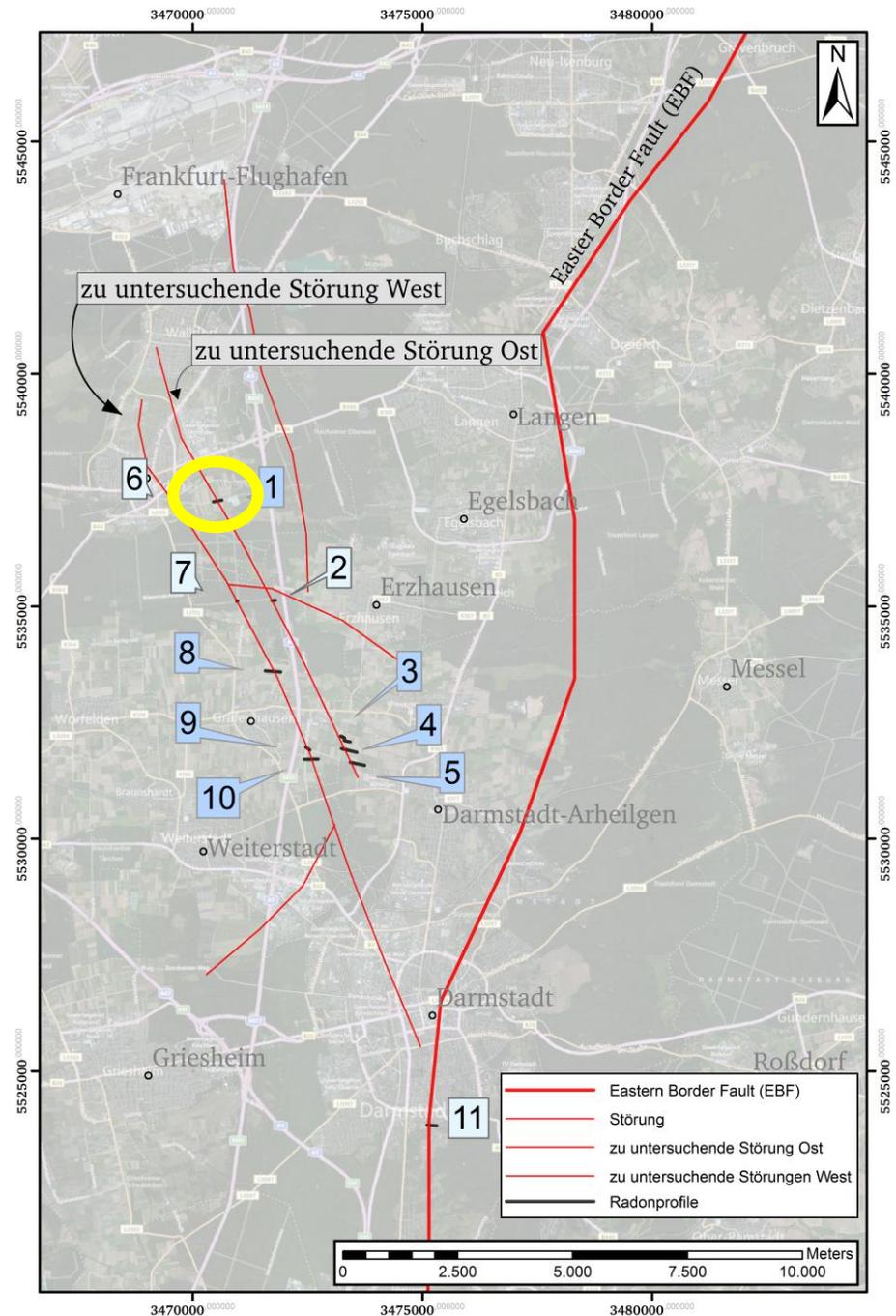


Aber es gibt sehr  
viel mehr Störungen

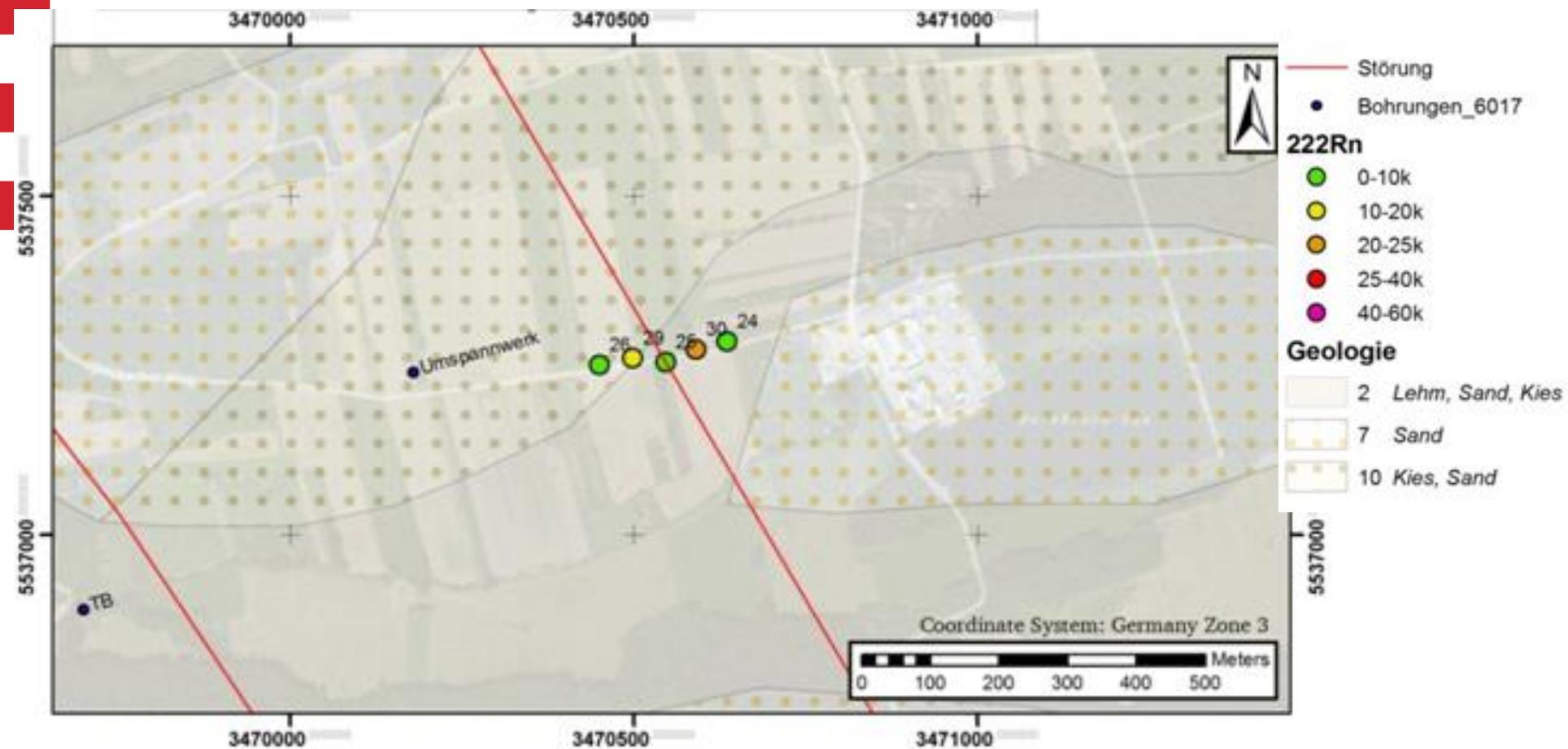
2 km

# Bodenluftmessungen .....

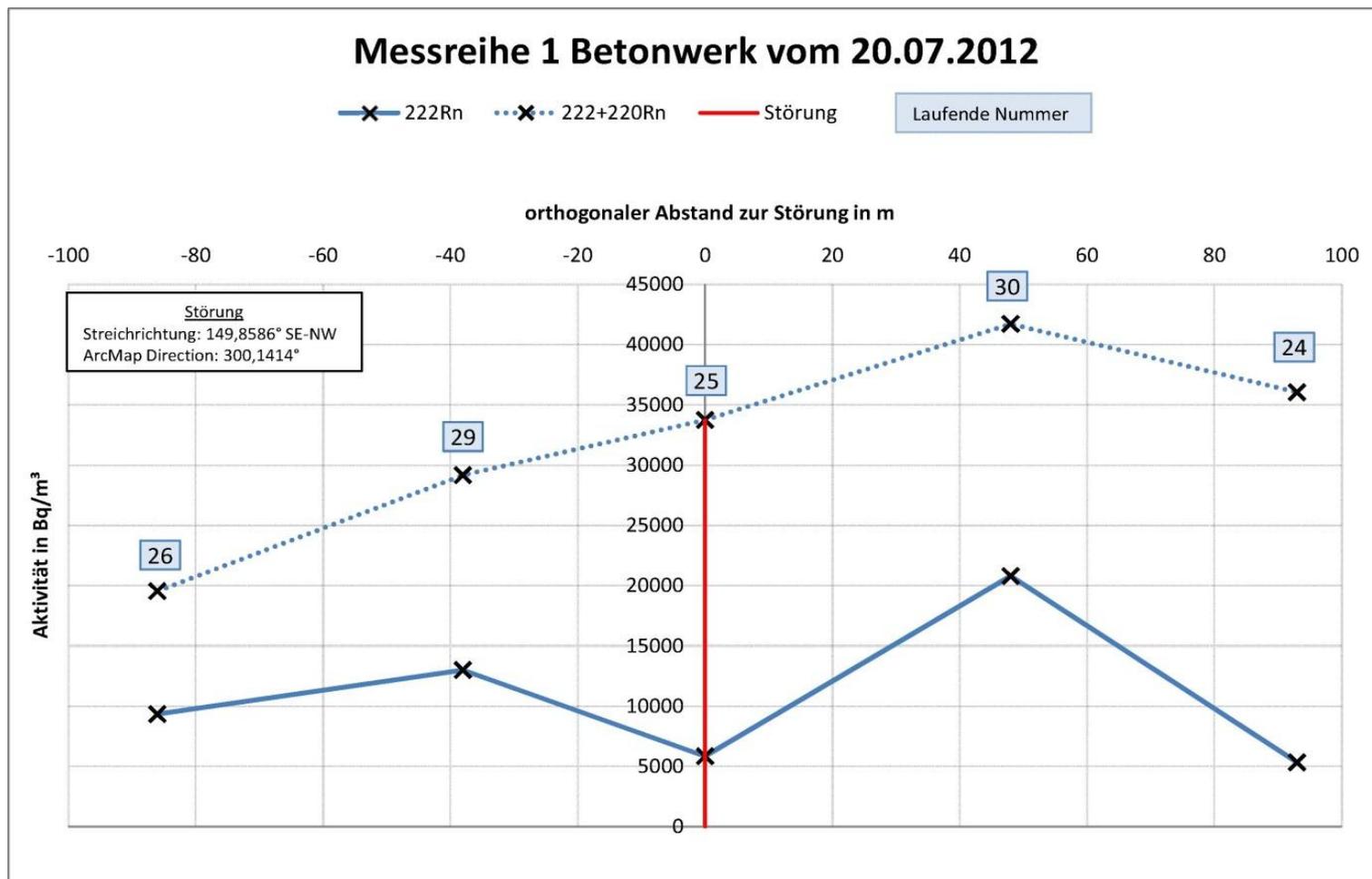
..... im Raum Darmstadt



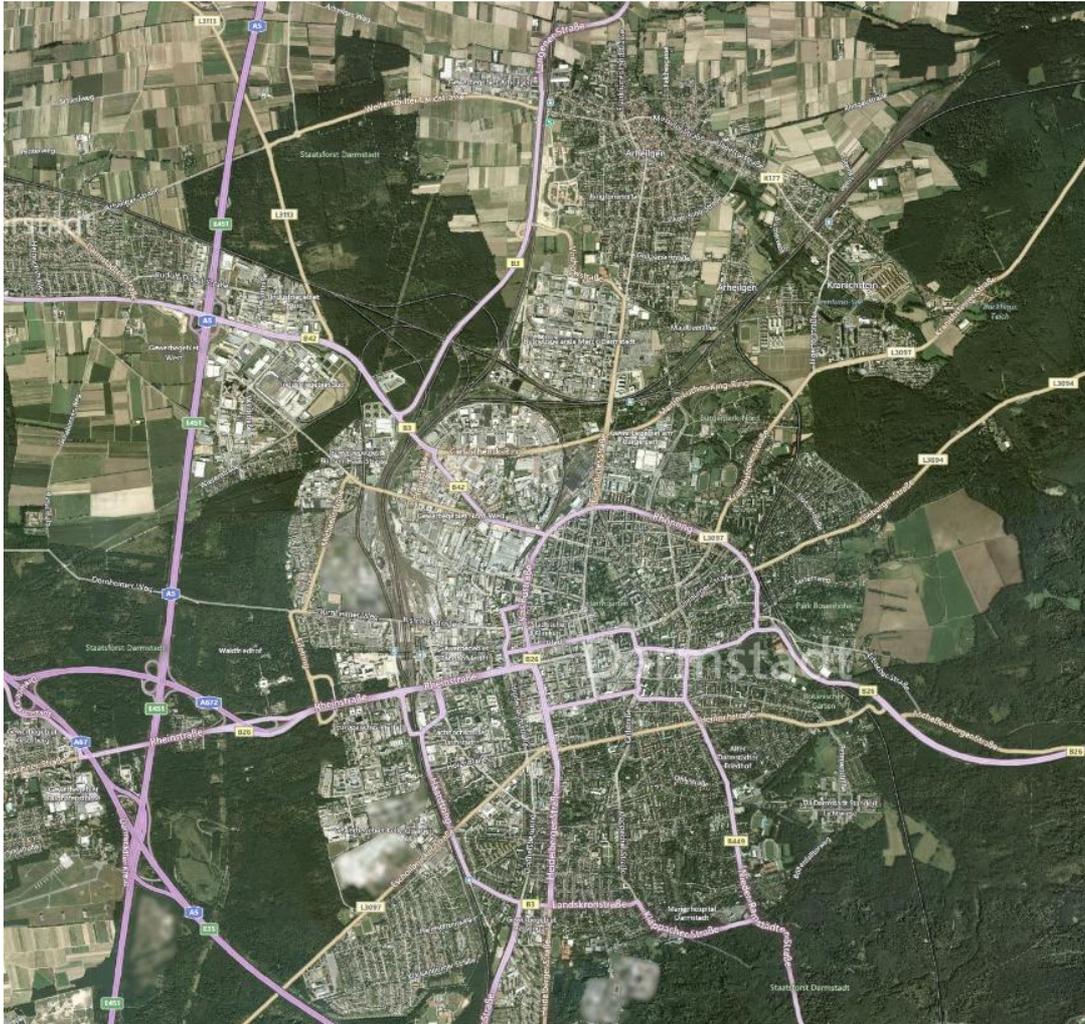
# Profil 1



# Profil 1



# Geodynamik Darmstadt



Beispiel Darmstadt

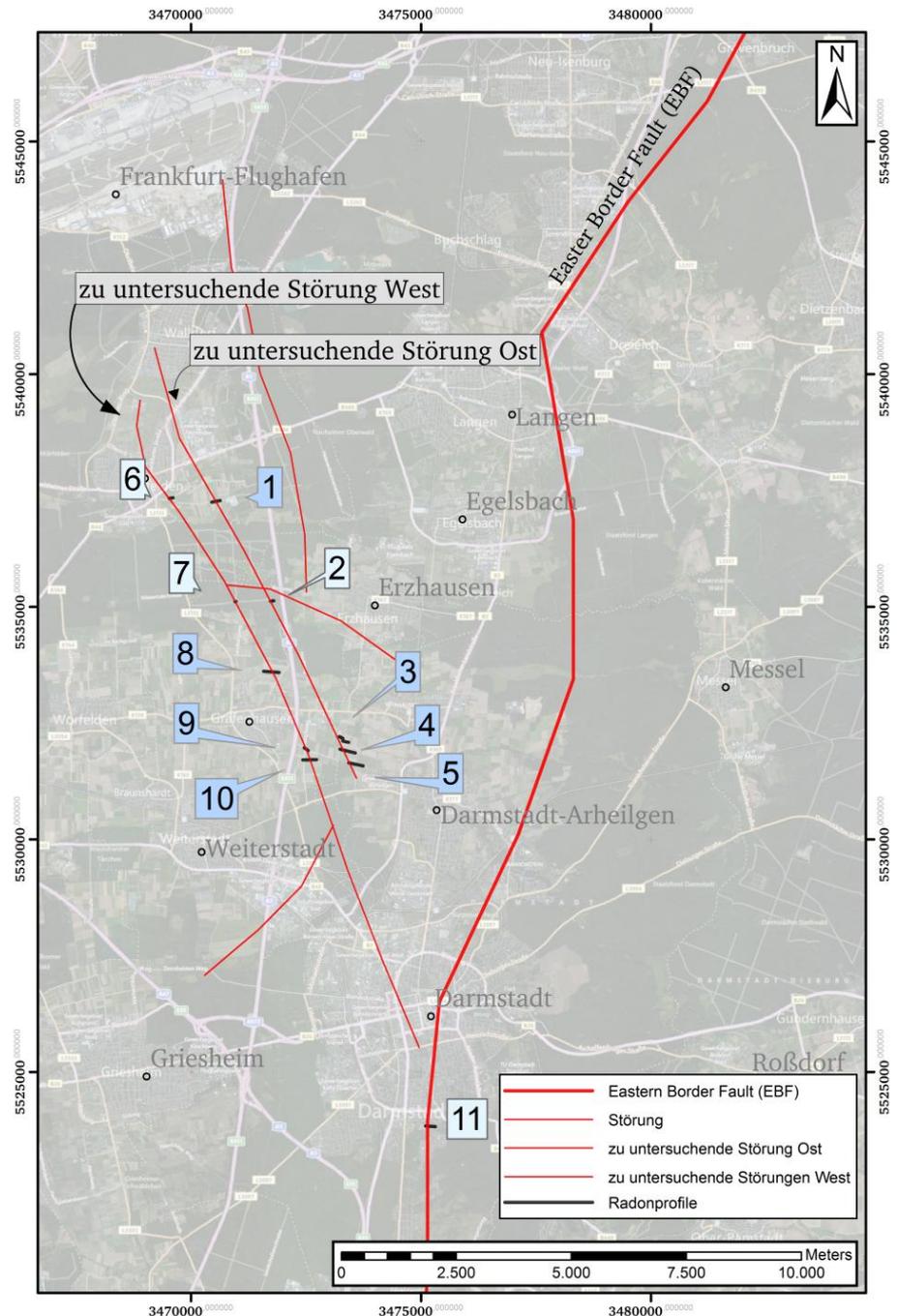
2 km

(Quelle: Bing Maps)



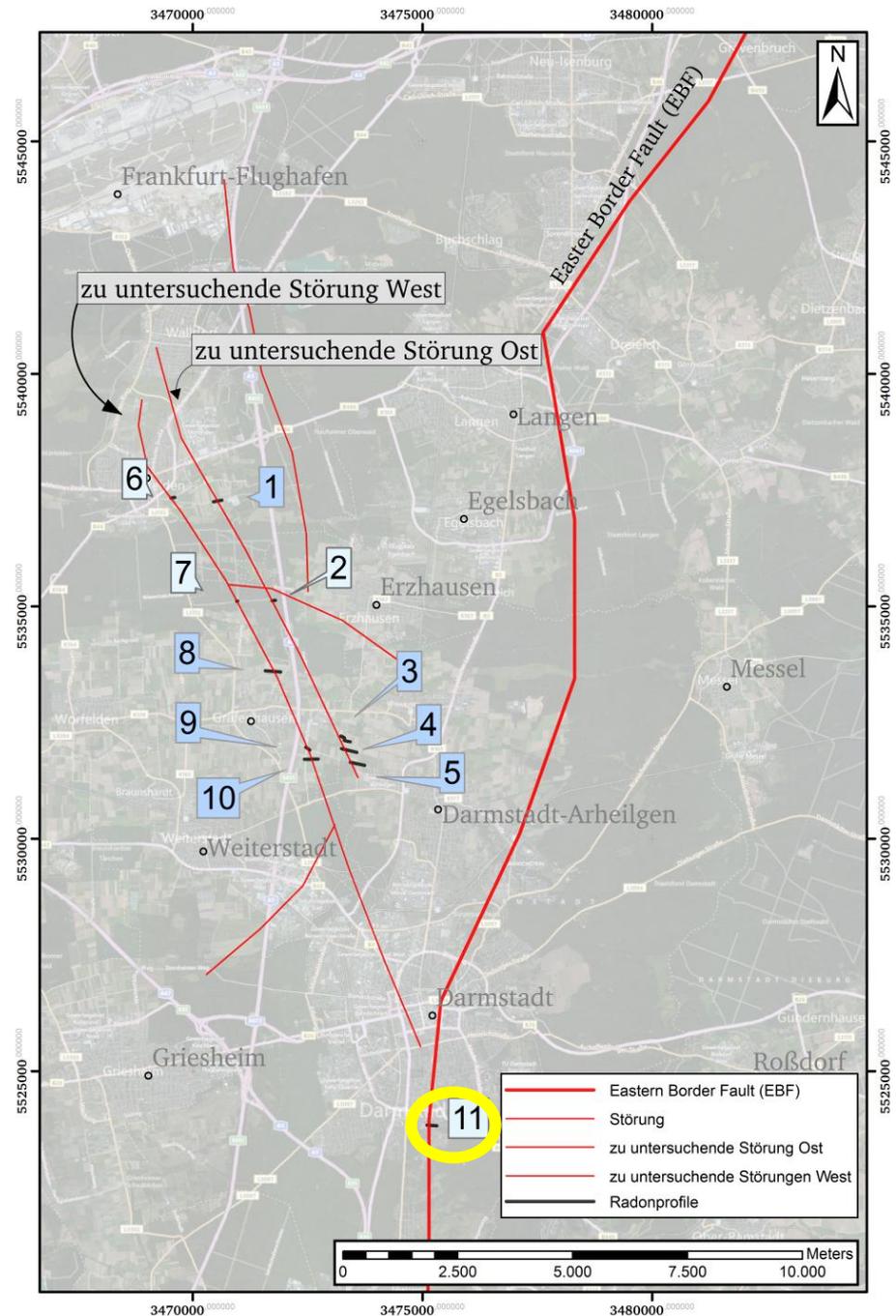
# Bodenluftmessungen .....

..... im Raum Darmstadt



# Bodenluftmessungen .....

..... im Raum Darmstadt

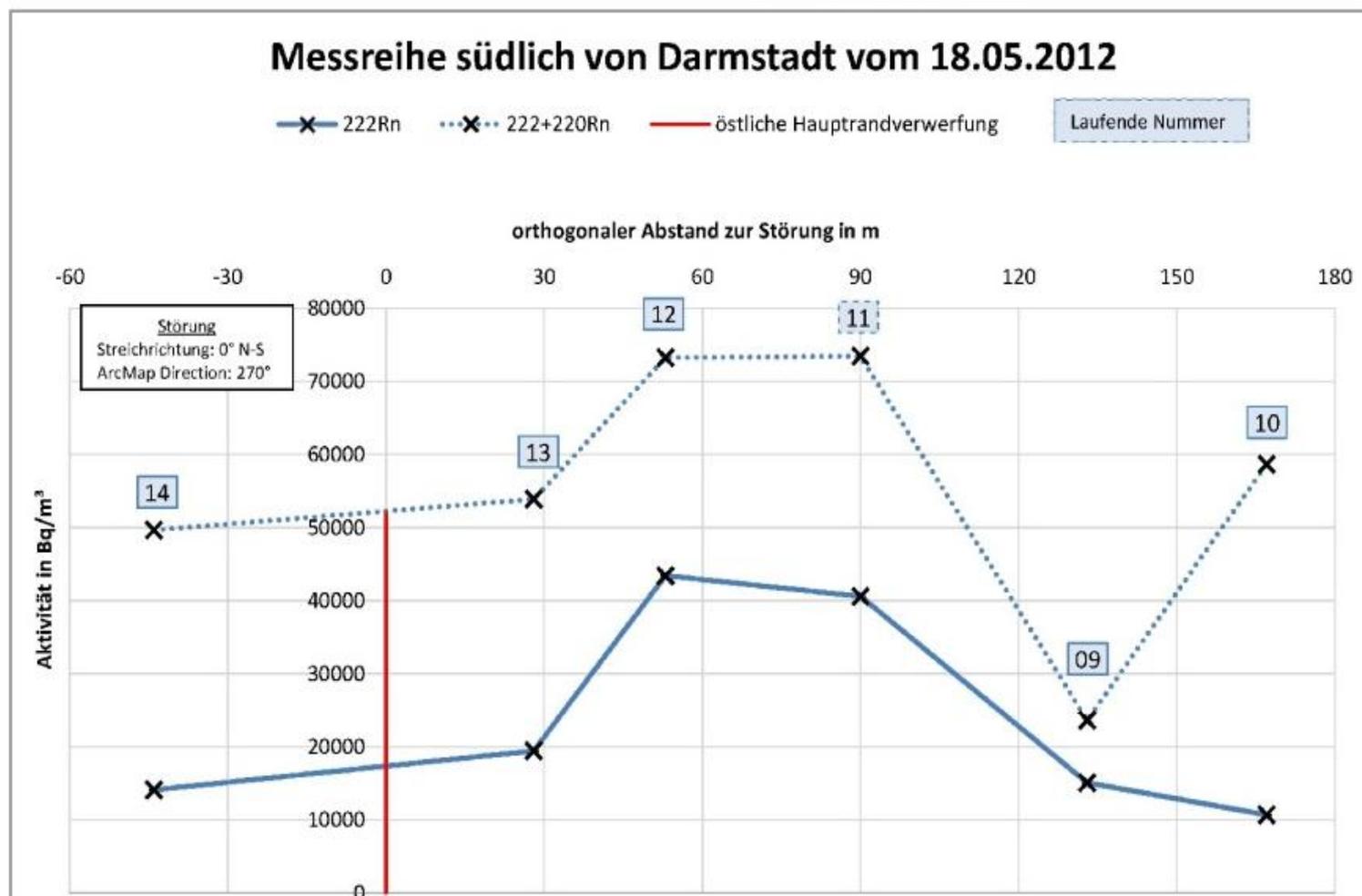


# Profil 11

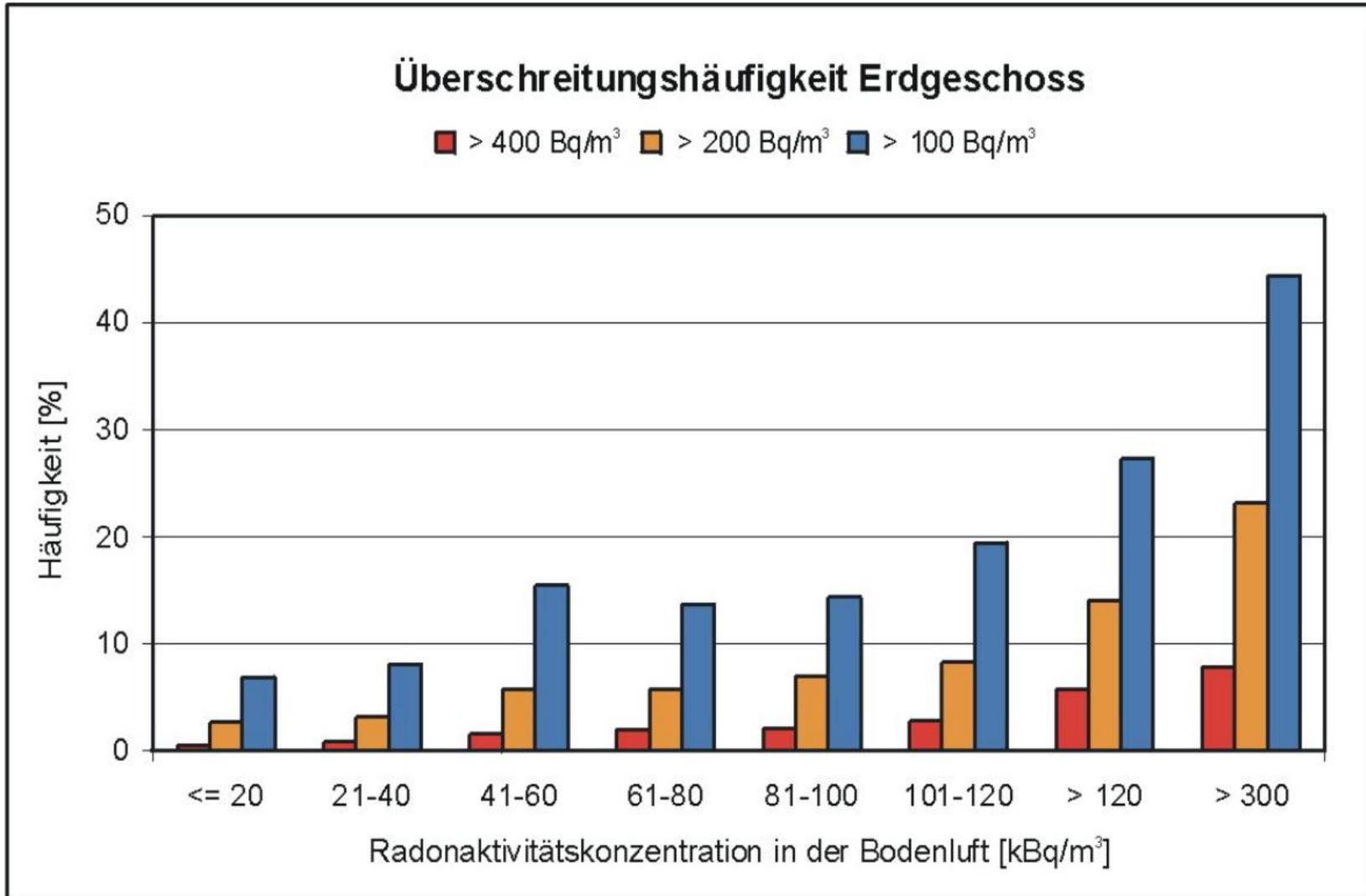


Östliche Haupttrandverwerfung

# Profil 11

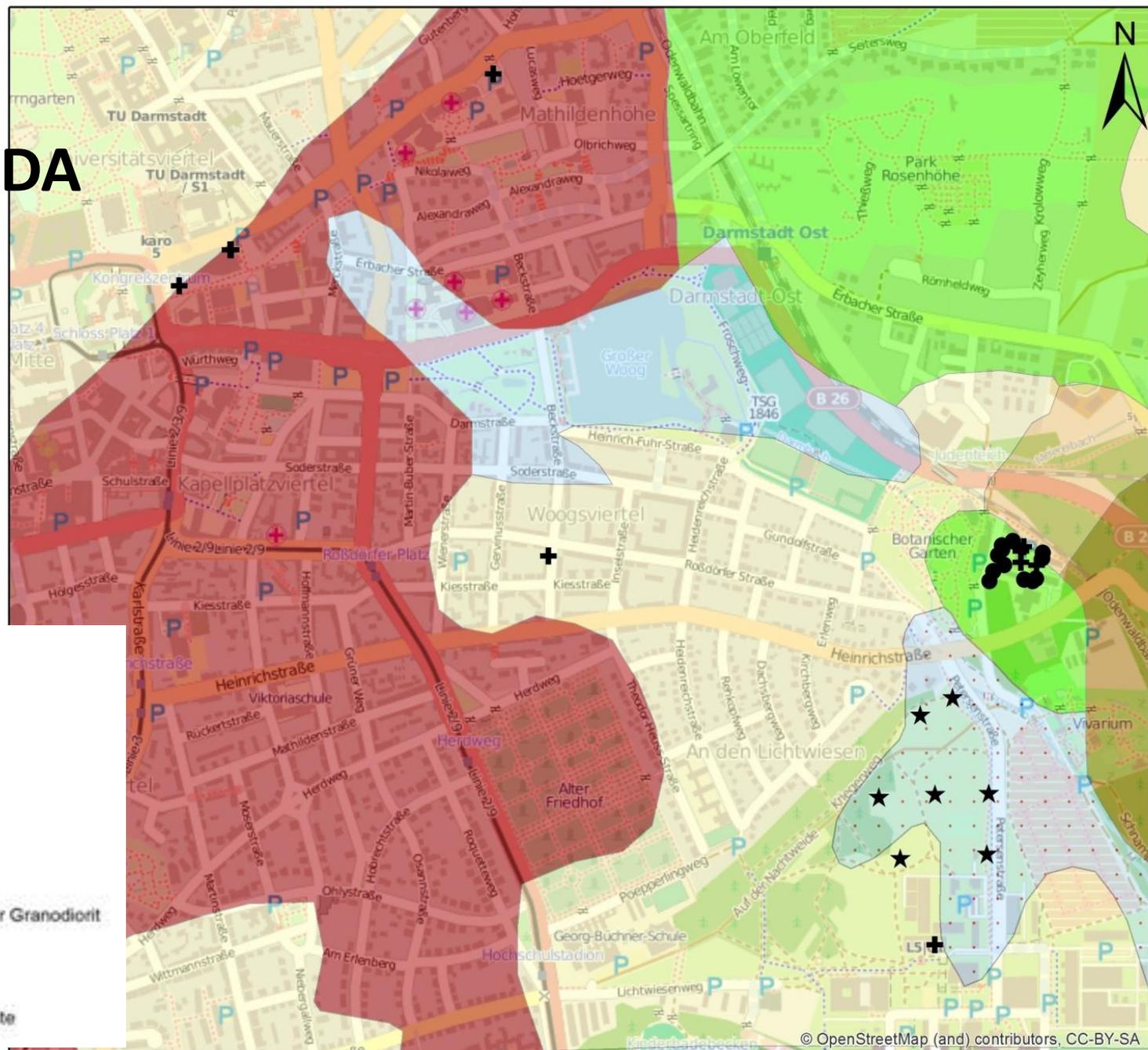


# Radon in der Raumluft



Hessisches Landes

# Übersicht DA



- ✚ Raumluft
- Botanischer Garten
- ★ Lichtwiese

## GUEK200

## Geologie

- Flugsand
- Granodiorit; Typ: Maichen
- Hochflutablagerungen
- Hochflutablagerungen / vergruster Granodiorit
- Oberrotliegendes
- Unterrotliegendes
- basische bis intermediäre Vulkanite

Legende

(Quelle: Kuhn, 2014)

0 375 750 1.500 Meter

© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

# Messung darmstadtium

## Legende

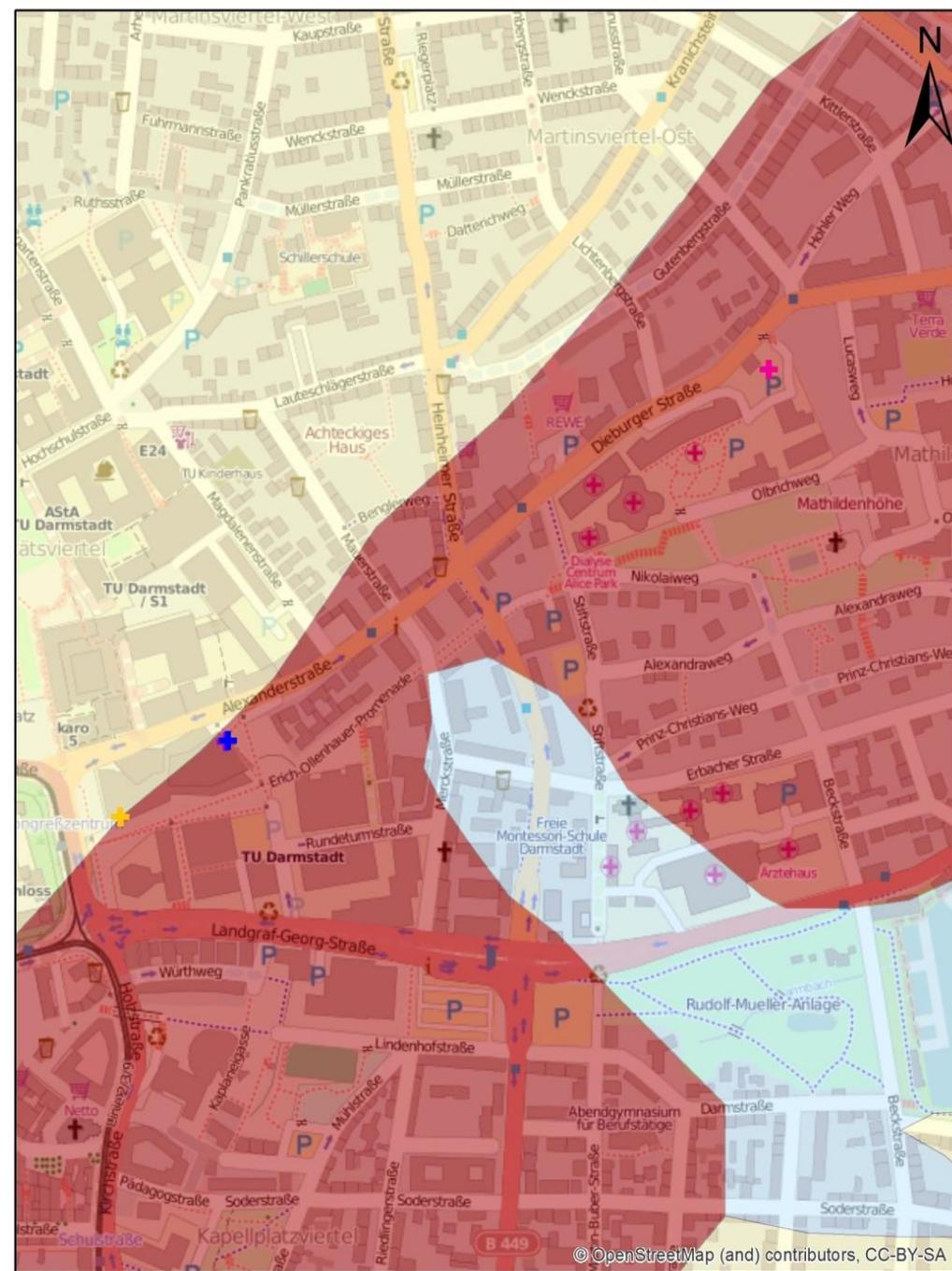
### Raumluft Bq/m<sup>3</sup>

- + 15
- + 25,92
- + 41
- + 54
- + 136
- + 341
- + 6081
- + 11607

## GUEK200

### Geologie

- Flugsand
- Granodiorit; Typ: Malchen
- Hochflutablagerungen
- Hochflutablagerungen / vergruster Granodiorit
- Oberrotliegendes
- Unterrotliegendes
- basische bis intermediäre Vulkanite



0 190 380 760 Meter

(Quelle: Kuhn, 2014)

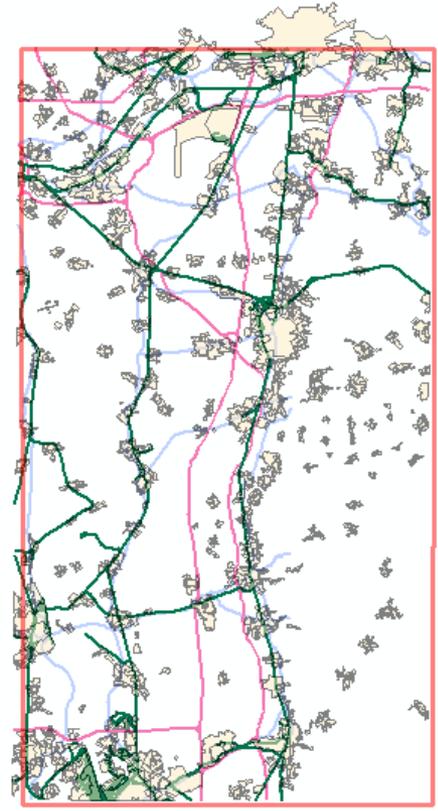
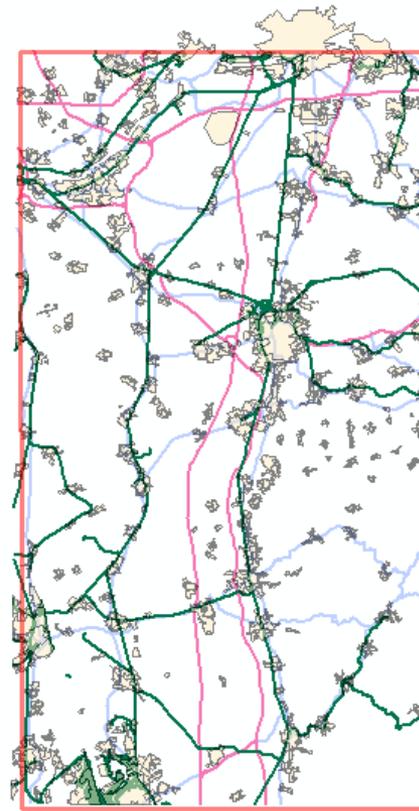
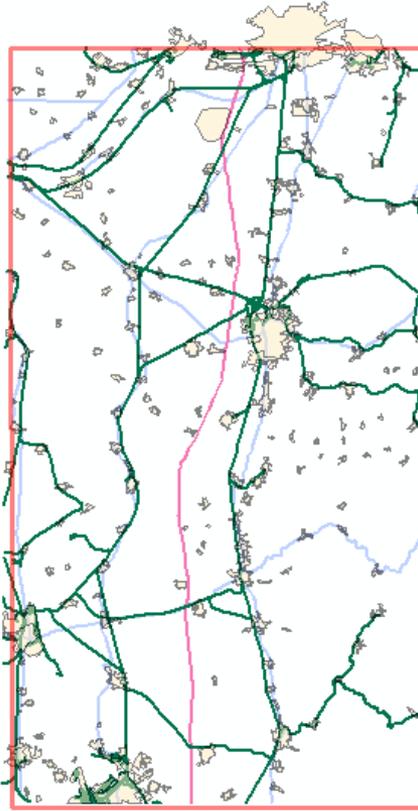
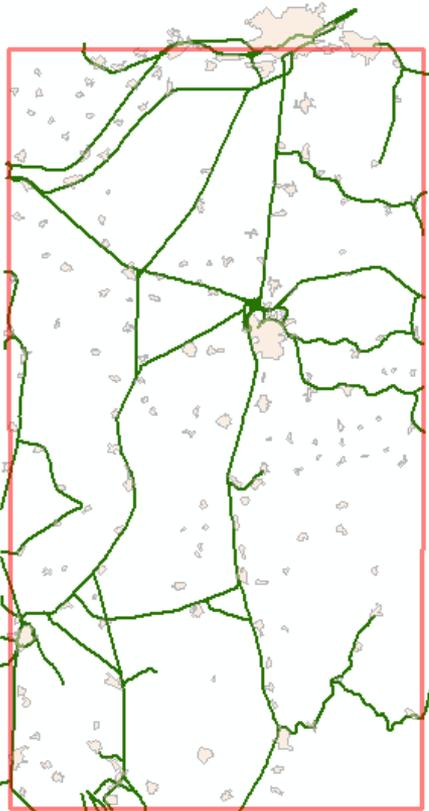
# Entwicklung Metropolregion Rhein-Main

**1910:**  
**115 km<sup>2</sup>; 6,2%**

**1950:**  
**186 km<sup>2</sup>; 10%**

**1980:**  
**341 km<sup>2</sup>; 18,4%**

**2010:**  
**445 km<sup>2</sup>; 24%**



0 2 4 8 12 16  
Kilometers

(Lehné et al. 2013)

# Bedarf eines urbanen Raums / Rhein-Main

Boden + Massenrohstoffe + Grundwasser

2004/2005

**Einwohner: 654964** (Statistisches Jahrbuch Frankfurt am Main 2005)

**Trinkwasser: 49 Mio m<sup>3</sup>/year** (Privat 37,6 / Industrie 7,7 / Leckagen 3,2 -  
Statistisches Jahrbuch Frankfurt am Main 2005)

**Preis Trinkwasser: 1,74 € /m<sup>3</sup>** ENTEGA 2005)

**Preis für eine Familie: 78,90 € / month** (240 m<sup>3</sup>/a, 4-Personen; 43,70  
water / 35,20 Abwasser - FR-Online – Dossiers 29.6.2006)

**Sand & Kies: ~ca. 3 Mio t oder 33 Mio € /Jahr** ( 4,5 t/c-a x  
11,32 € x 655000 Einwohner)

# Aufgabe

Tertiäre und Quartäre Sedimentfüllung lokal mehr als 3000 m mächtig

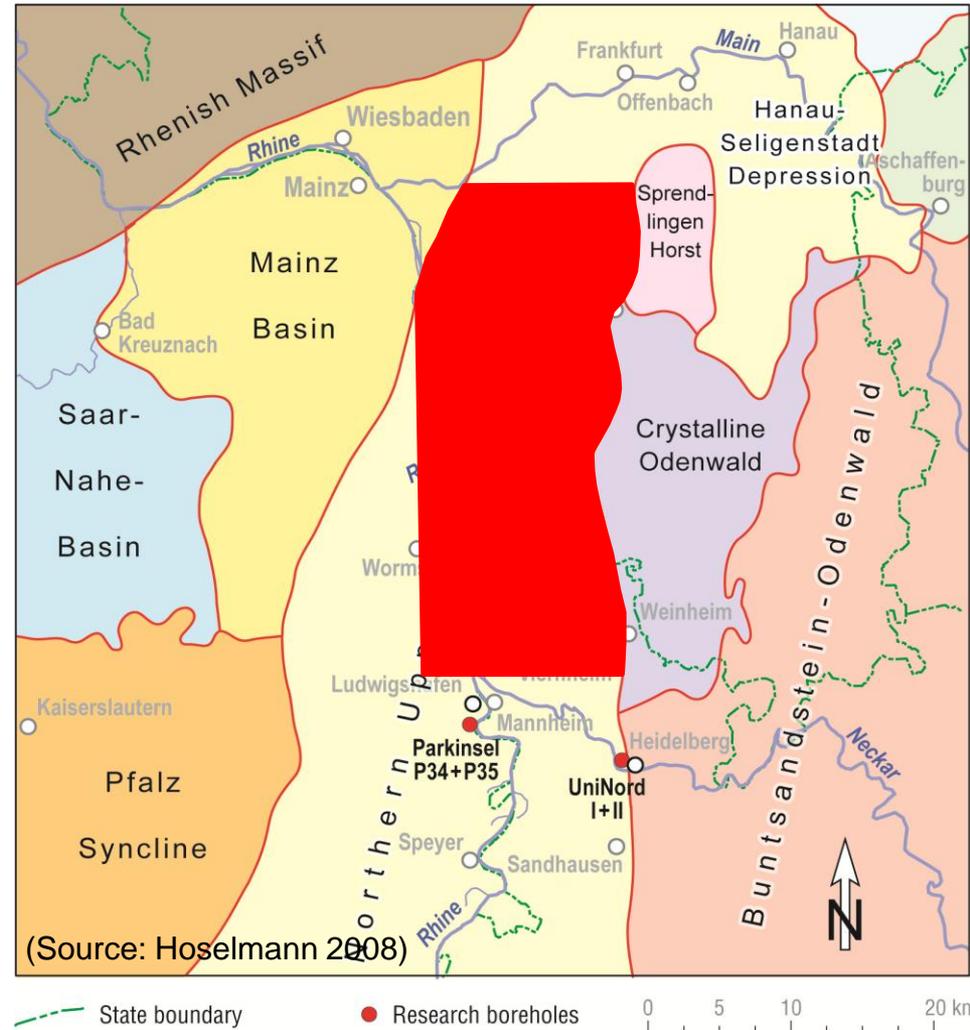
Quartäre Ablagerungen bis zu 400 m mächtig im Heidelberger Becken

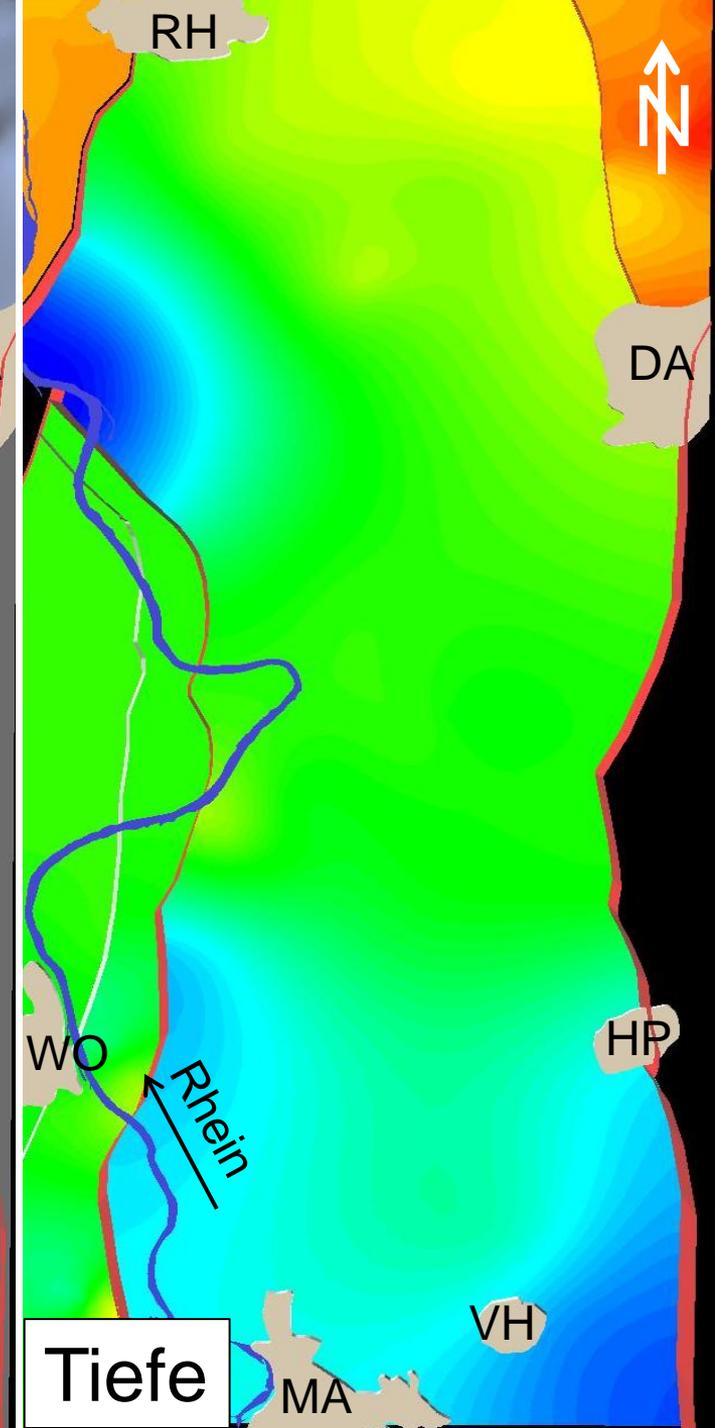
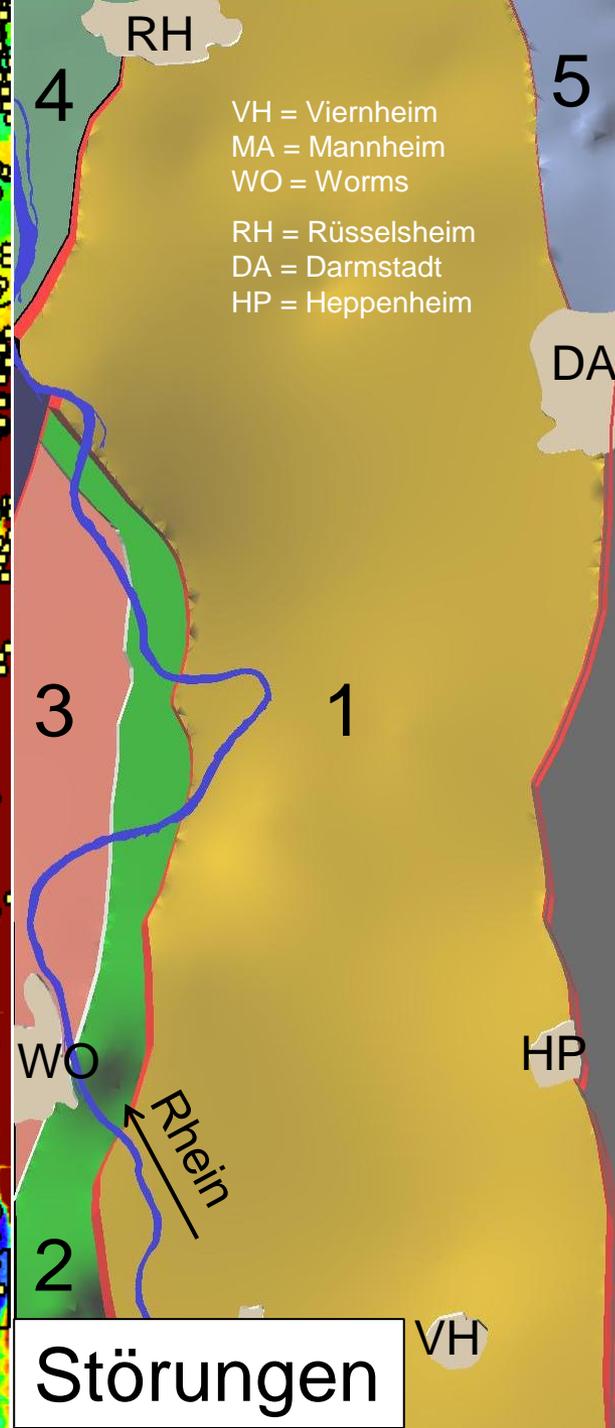
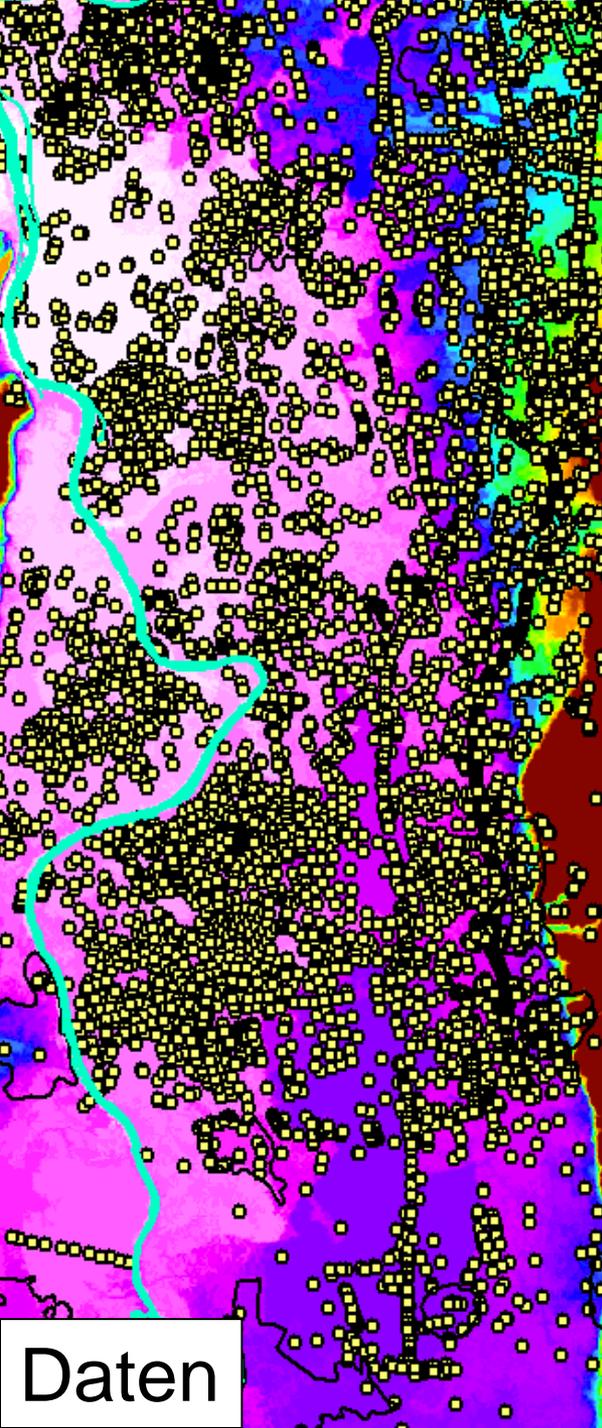
Unkonsolidierte Sedimente bilden einen der größten Aquifere Europas (ca. 45 mrd m<sup>3</sup>)

Rhein: Quelle & Lieferant für Wasser, Massenrohstoffe, flache Geothermie

**Ziel: 3D-Visualisierung des Quartärs**

**Eingangsdaten: Bohrungen**





RH

5

RH



VH = Viernheim  
MA = Mannheim  
WO = Worms  
RH = Rüsselsheim  
DA = Darmstadt  
HP = Heppenheim

DA

DA

3

1

WO

Rhein

HP

WO

Rhein

HP

2

VH

Tiefe

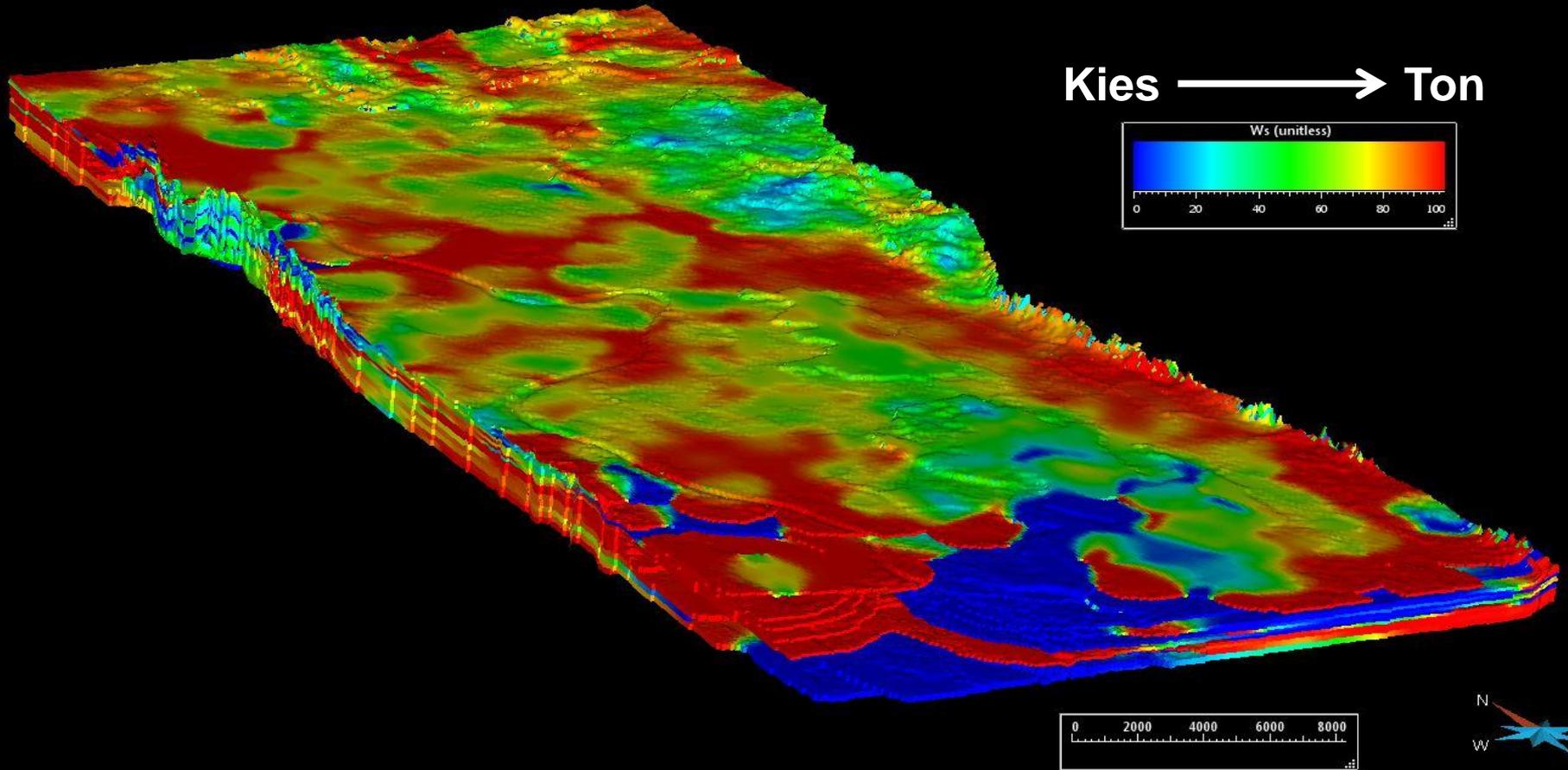
MA

VH

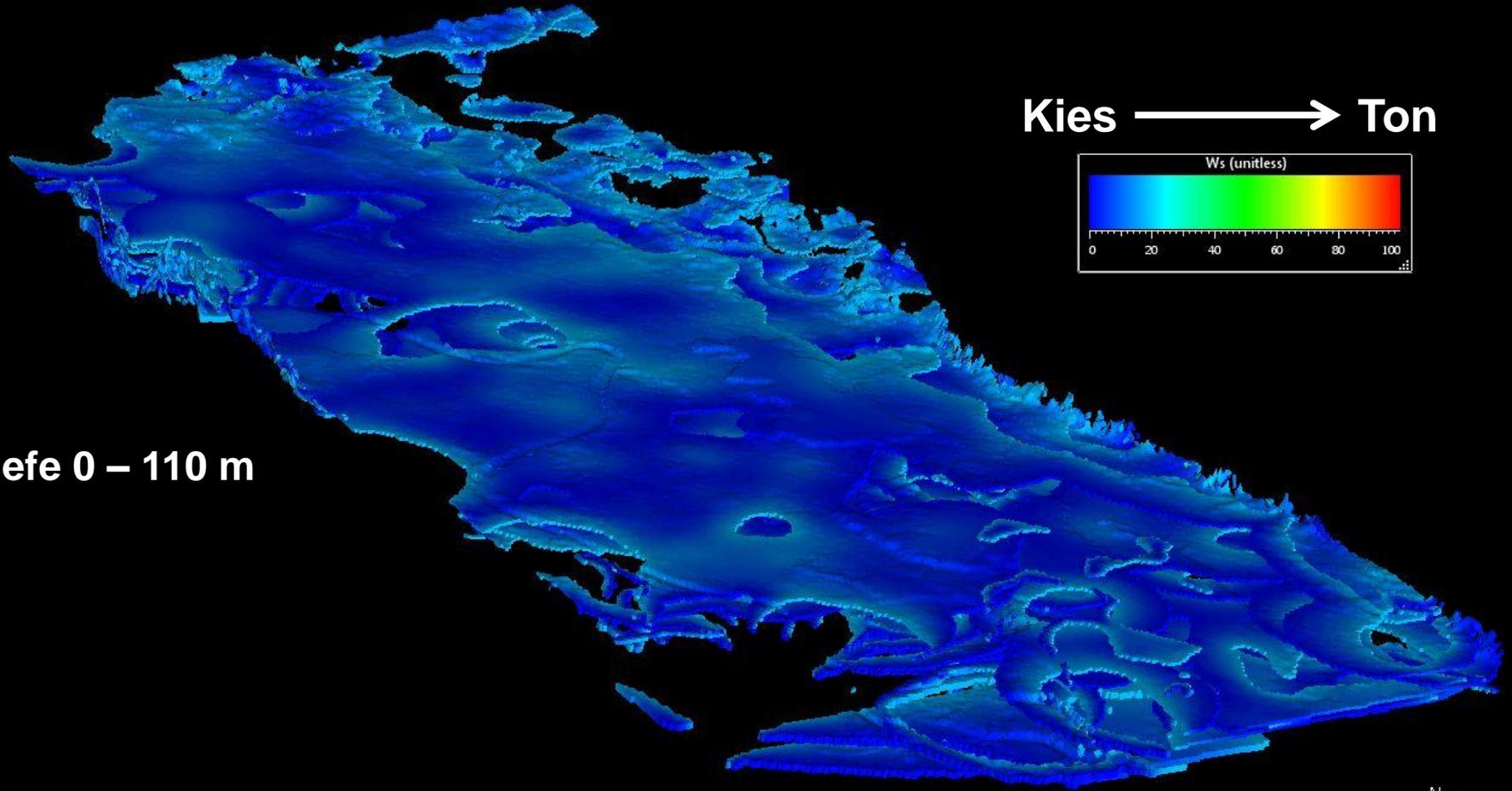
Daten

Störungen

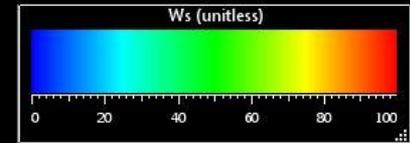
# Parametrisierung



# Verbreitung Kies/Sand



Kies → Ton



Tiefe 0 – 110 m

26 Mrd. m<sup>3</sup> = 46,8 Mrd. Tonnen



## Fragen

### Grundwasser

- Welche Störungen sind im Betrachtungsraum vorhanden/aktiv?
- Gibt es Interaktion zw. verschiedenen Aquiferen?

## Fragen

### Grundwasser

- Welche Störungen sind im Betrachtungsraum vorhanden/aktiv?
- Gibt es Interaktion zw. verschiedenen Aquiferen?

### Massenrohstoffe

- Können wir Homogenitätsbereiche ausweisen?

## Fragen

### Grundwasser

- Welche Störungen sind im Betrachtungsraum vorhanden/aktiv?
- Gibt es Interaktion zw. verschiedenen Aquiferen?

### Massenrohstoffe

- Können wir Homogenitätsbereiche ausweisen?

### Baugrund

- Wo gibt es rezente Oberflächendeformationen (geogen/anthropogen)?

## Fragen

### Grundwasser

- Welche Störungen sind im Betrachtungsraum vorhanden/aktiv?
- Gibt es Interaktion zw. verschiedenen Aquiferen?

### Massenrohstoffe

- Können wir Homogenitätsbereiche ausweisen?

### Baugrund

- Wo gibt es rezente Oberflächendeformationen (geogen/anthropogen)?

### Altlasten

- Wo vorhanden? Gibt es Migration?

## Fragen

### Grundwasser

- Welche Störungen sind im Betrachtungsraum vorhanden/aktiv?
- Gibt es Interaktion zw. verschiedenen Aquiferen?

### Massenrohstoffe

- Können wir Homogenitätsbereiche ausweisen?

### Baugrund

- Wo gibt es rezente Oberflächendeformationen (geogen/anthropogen)?

### Altlasten

- Wo vorhanden? Gibt es Migration?

### Geothermie

- Können Migrationen entlang von Störungen stattfinden?

## Fragen

### Grundwasser

- Welche Störungen sind im Betrachtungsraum vorhanden/aktiv?
- Gibt es Interaktion zw. verschiedenen Aquiferen?

### Massenrohstoffe

- Können wir Homogenitätsbereiche ausweisen?

### Baugrund

- Wo gibt es rezente Oberflächendeformationen (geogen/anthropogen)?

### Altlasten

- Wo vorhanden? Gibt es Migration?

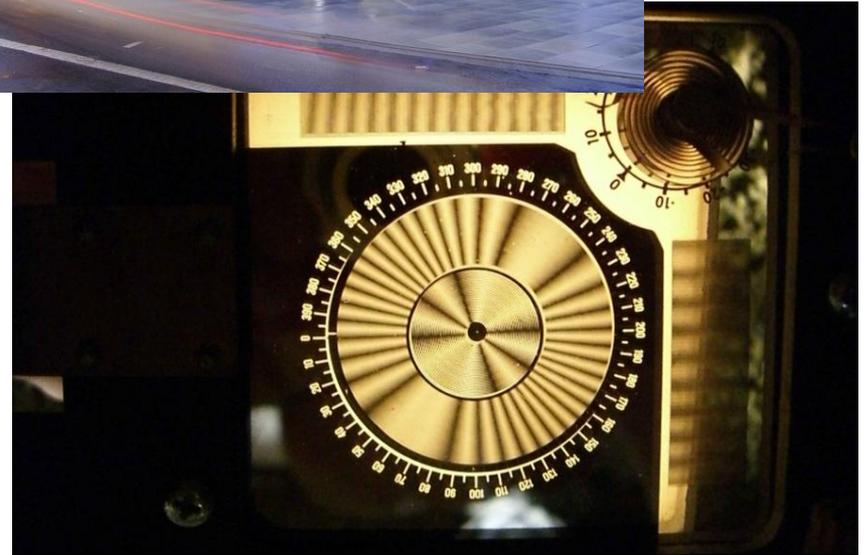
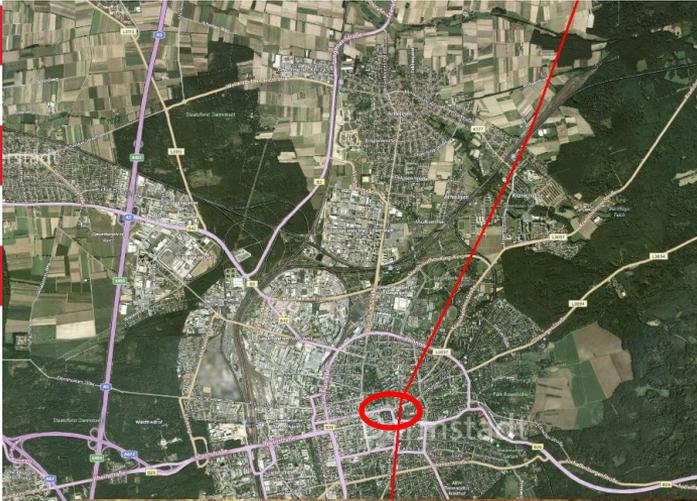
### Geothermie

- Können Migrationen entlang von Störungen stattfinden?

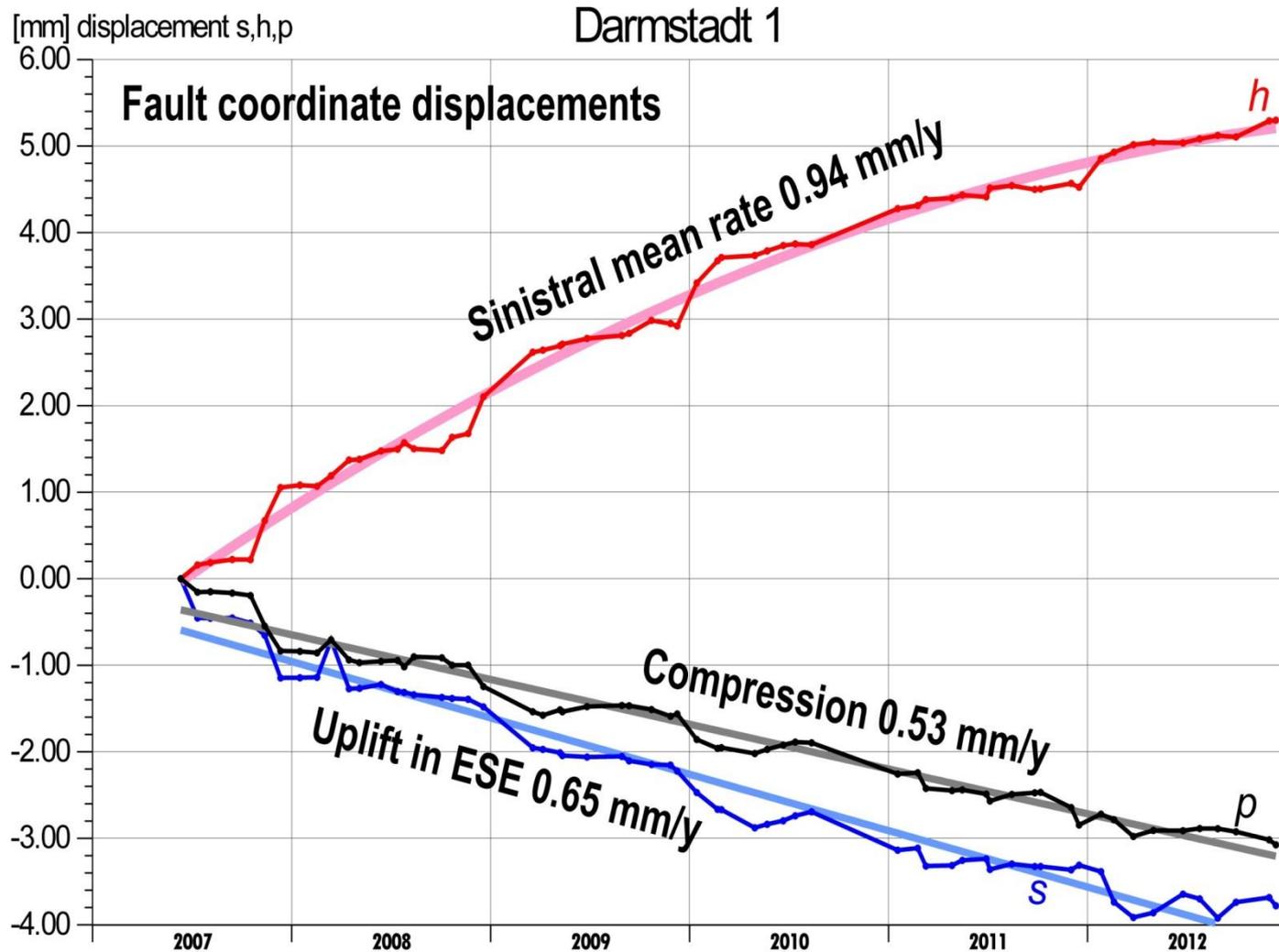
### Radionuklide

- Konzentration? Migration?

# Geodynamik Darmstadt



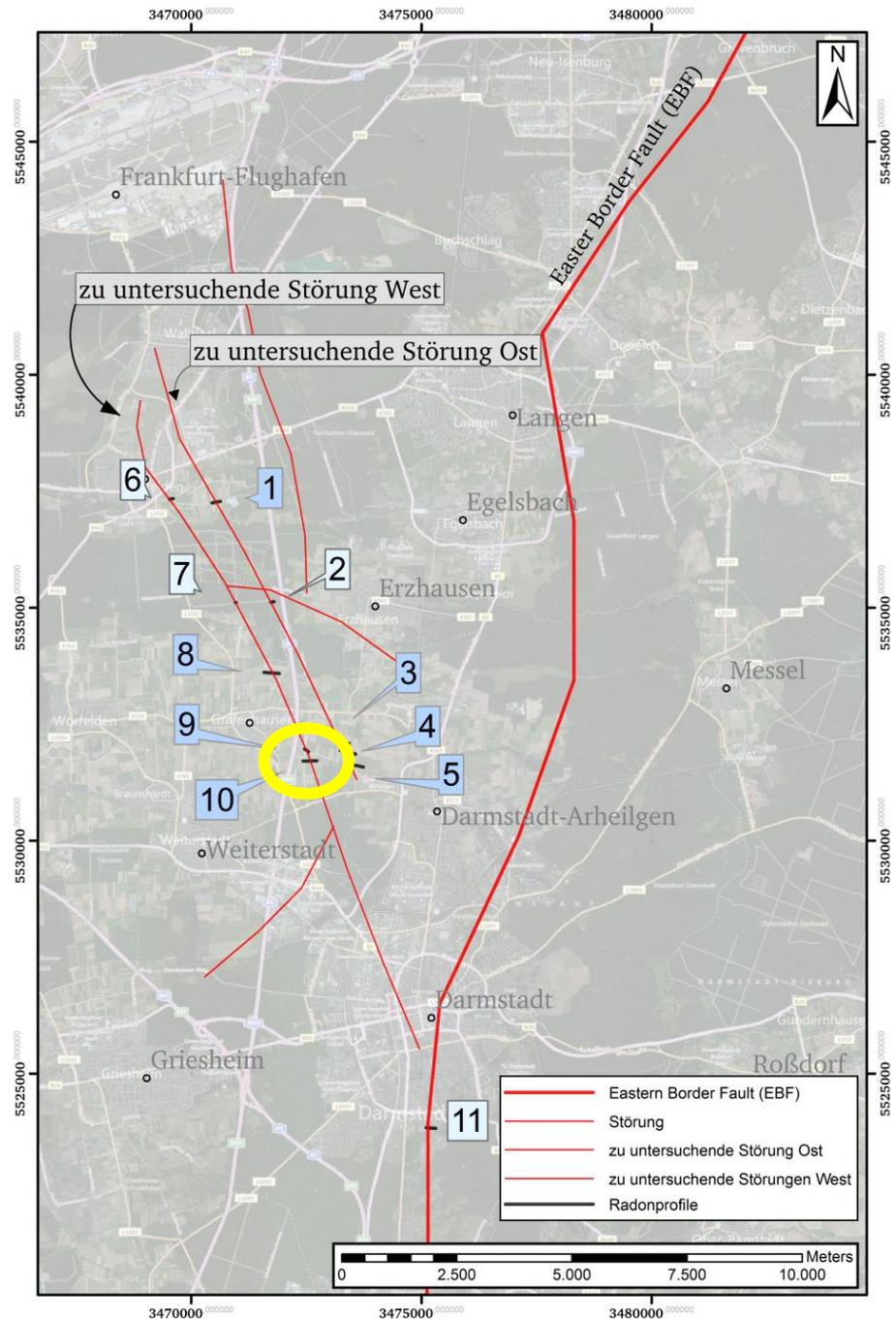
# Geodynamik Darmstadt



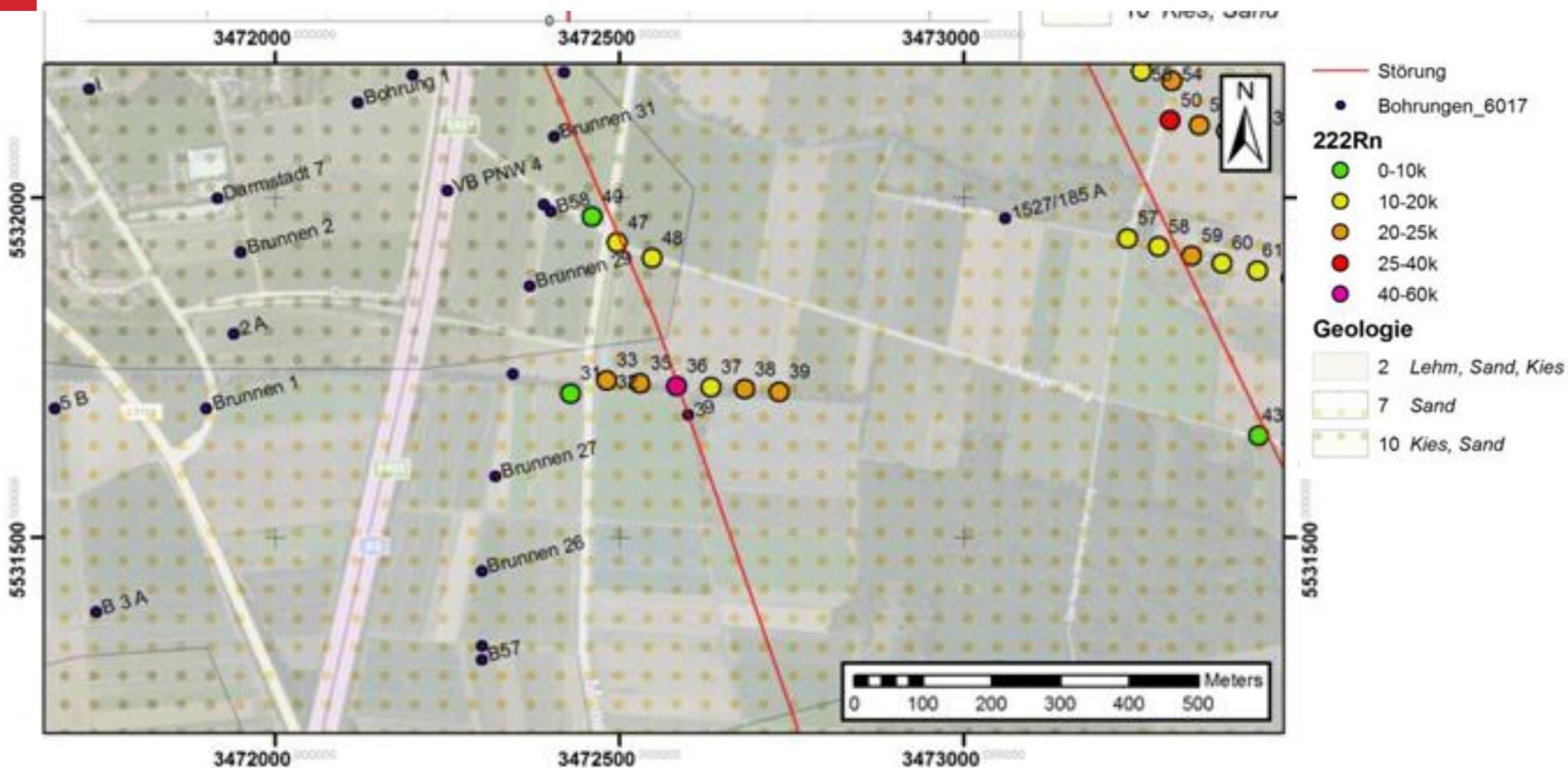
(Hoppe et al. 2014)

# Bodenluftmessungen .....

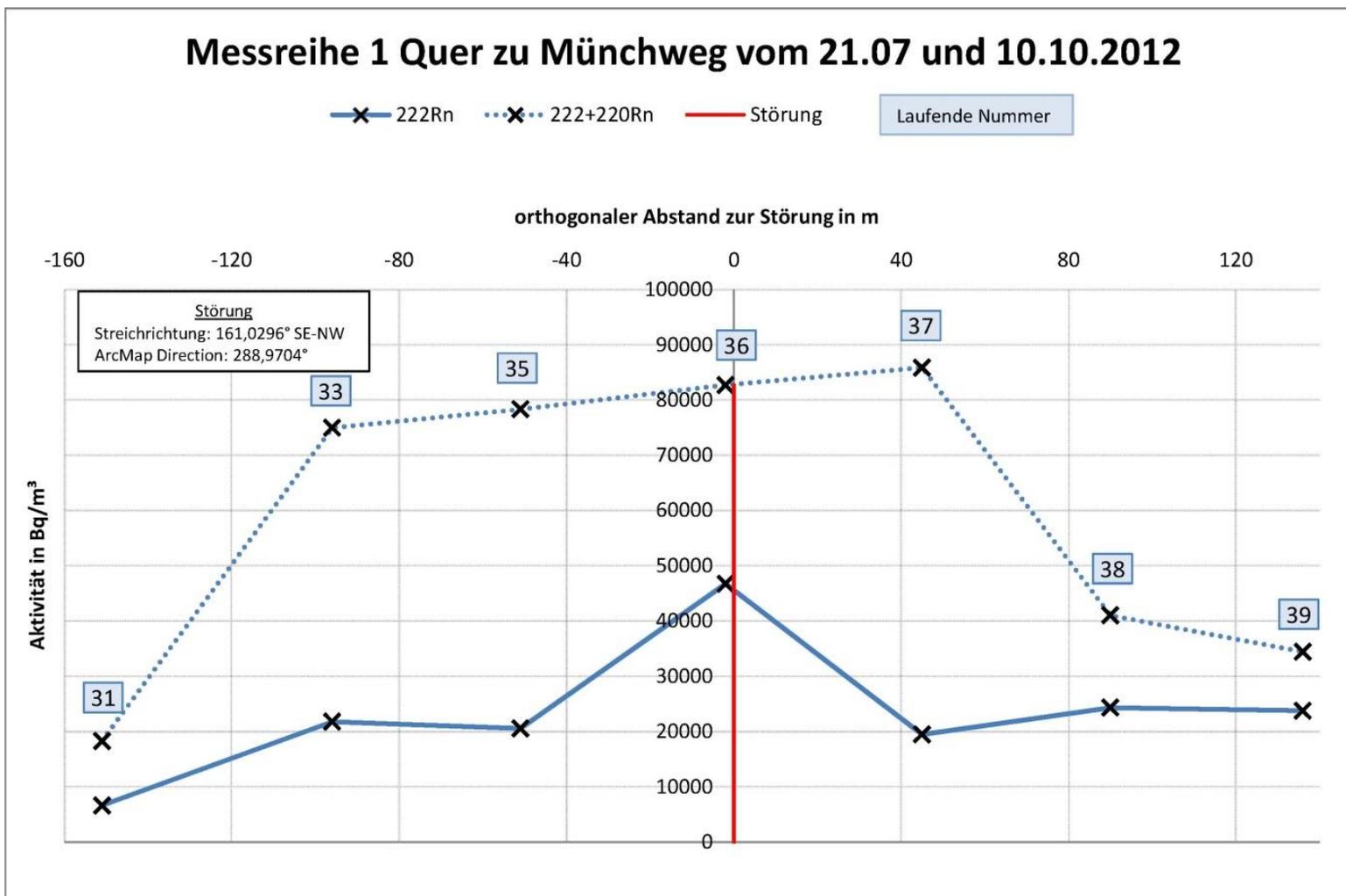
..... im Raum Darmstadt



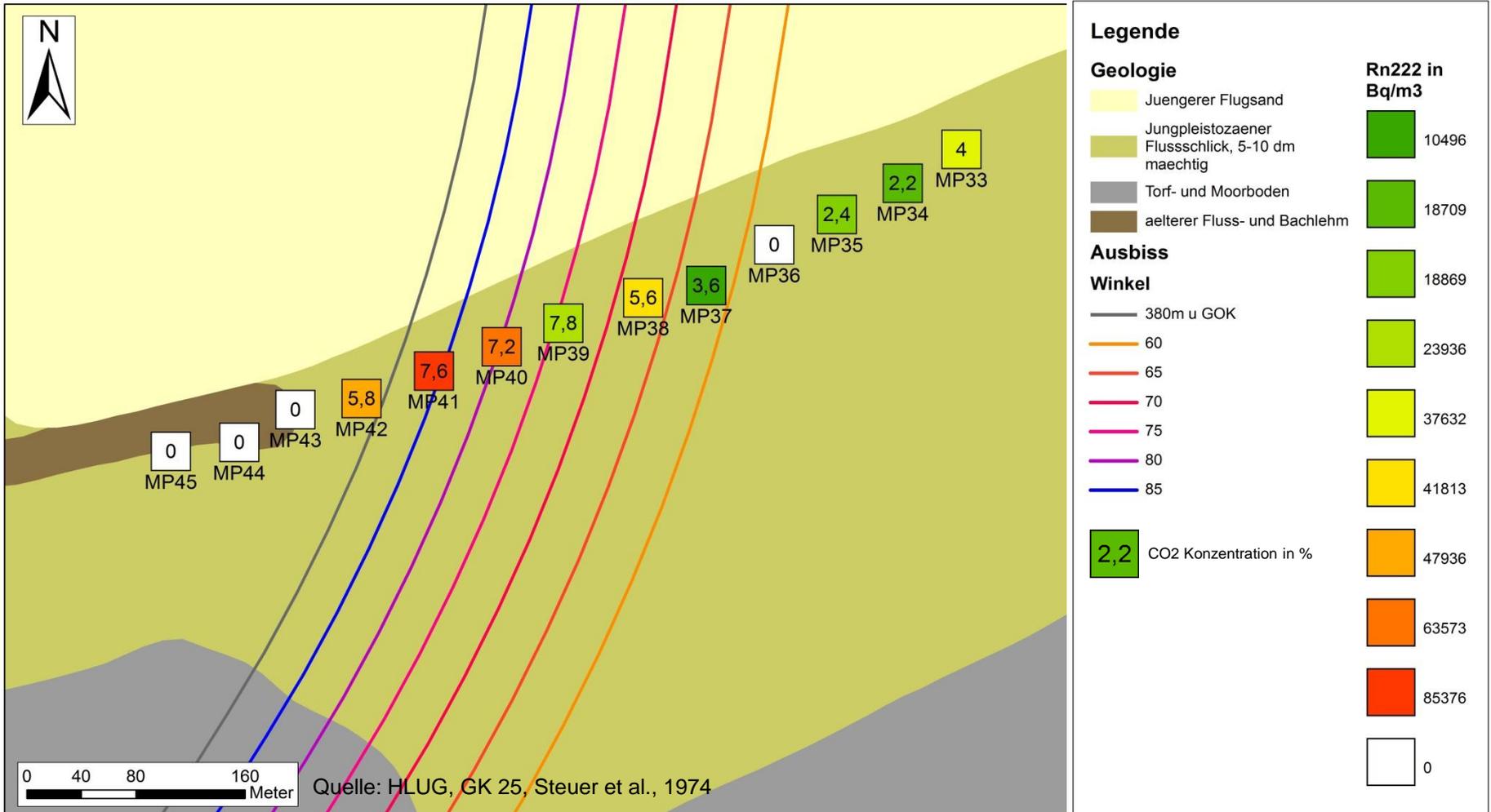
# Profil 10



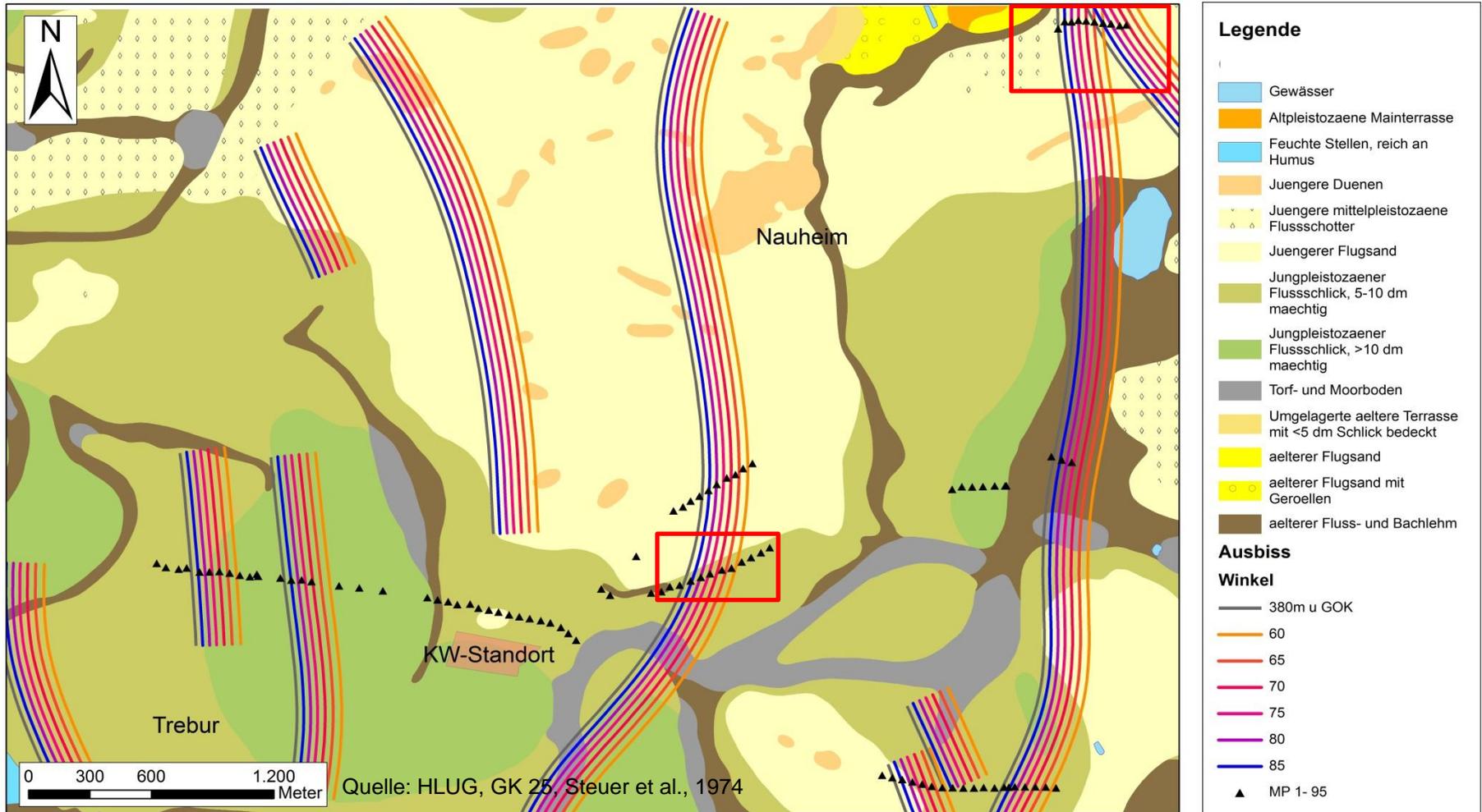
# Profil 10



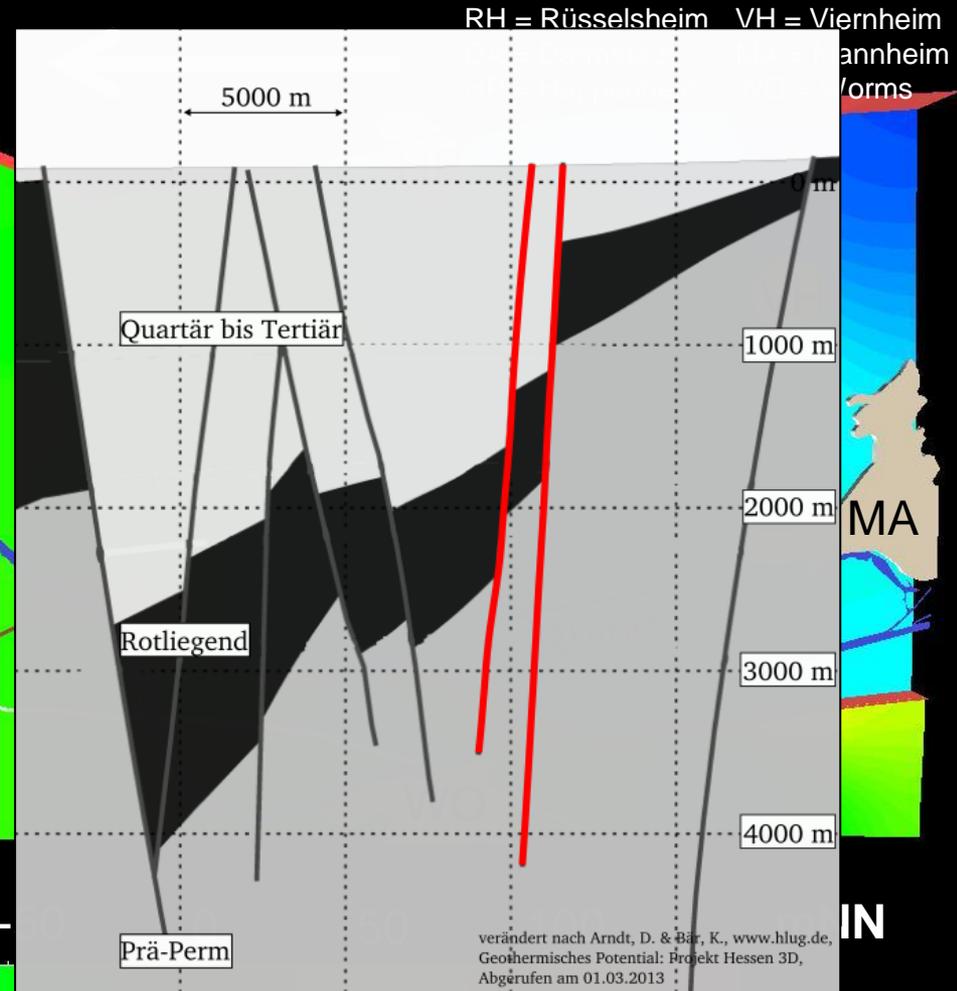
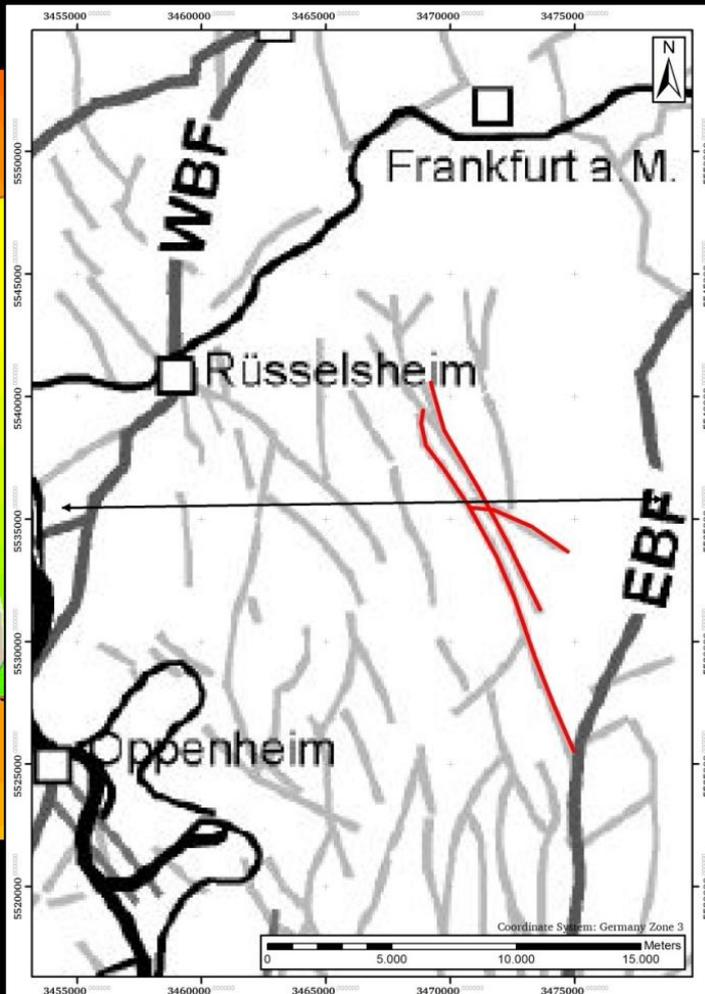
# MP 33 – 45



# Messpunkte



# Bodenluftmessungen im Raum Darmstadt



**Weitere Schritte darmstadtium**



# Weitere Schritte darmstadtium

- Ausbau der Station zu einer Multiparameter-Messeinrichtung
  - > Strong-Motion Detektor (HLUG)
  - > Radon-Dauerbeobachtung (HLUG)
  - > Extensometer (TU-DA)
  - > Satellitengestützte Regionalisierung (TU-DA)
  
- >> Integration darmstadtium u.a. in Erdbebendienst Hessen
- >> Unterstützung wiss. Arbeiten an TU-DA