



**Mecklenburg  
Vorpommern**



Landesamt für Umwelt,  
Naturschutz und Geologie

# Stand der Uran-Untersuchungen in Mecklenburg-Vorpommern

Arbeitsgruppe Uran

Güstrow, Mai 2014



# Stand der Uran-Untersuchungen in Mecklenburg-Vorpommern

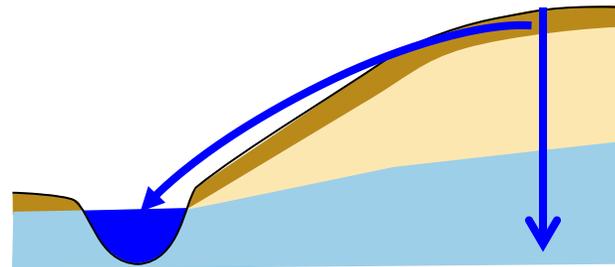
Ausgehend von ersten erhöhten Uran-Befunden im Trinkwasser wurden seit 2004 in Mecklenburg-Vorpommern (M-V) weitergehende Untersuchungen an Grund- und Trinkwässern sowie weiteren Umweltmedien vorgenommen. Hintergrund ist die bekannte toxische Wirkung des Schwermetalls Uran, wobei die radiologische Toxizität des Urans für das Trinkwasser in M-V im Vergleich zur chemischen Toxizität in diesem Zusammenhang von nachrangiger Bedeutung ist.

Als Bewertungsmaßstab für erhöhte Uran-Gehalte im Grund- und Trinkwasser wird der gemäß Trinkwasserverordnung (TrinkwV) ab 1. November 2011 geltende Uran-Grenzwert von 10 µg/l verwendet. Dieser Wert basiert auf einem bereits 2004 veröffentlichten Leitwert des Umweltbundesamtes (UBA). Er zählt als aktuell weltweit niedrigster Wert und soll allen Bevölkerungsgruppen, einschließlich Säuglingen, lebenslang gesundheitliche Sicherheit vor möglichen Schädigungen durch Uran im Trinkwasser bieten. Er gilt als wissenschaftlich (toxikologisch) begründet und bezieht sich auf die Chemotoxizität von Uran.

In der vorliegenden Präsentation werden in komprimierter Form die aktuell vorliegenden Ergebnisse der Uran-AG des Landes Mecklenburg-Vorpommern dargestellt. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass geogenes Uran durch oxidative Prozesse gelöst wird. Hierbei handelt es sich um die Prozesse, die auch zum nachlassenden Nitratabbauvermögen in den Grundwasserleitern führen.

## 1 Bestandsaufnahme in den Umweltmedien in M-V

- 1.1 Trinkwasser
- 1.2 Grundwasser
- 1.3 Uranisotopenverhältnisse in Grund- und Trinkwässern
- 1.4 Böden
- 1.5 Gesteinsuntersuchungen
- 1.6 Dränausläufe
- 1.7 Fließgewässer
- 1.8 Seesedimente



## 2 Arbeitshypothese Roll-front

- 2.1 Modell
- 2.2 Roll-front
- 2.3 Ausfällung und Rücklösung von Uran in Abhängigkeit von Tiefe und Lage der Redoxfront

## 3 Test der Arbeitshypothese mittels tiefenabhängiger Grundwasserbeprobung

- 3.1 Grundwassersondierung Schwerin-Süd
- 3.2 Grundwassersondierung Friedland
- 3.3 Zusammenhang zwischen Grundwassersondierung und Bohrkernanalytik Friedland

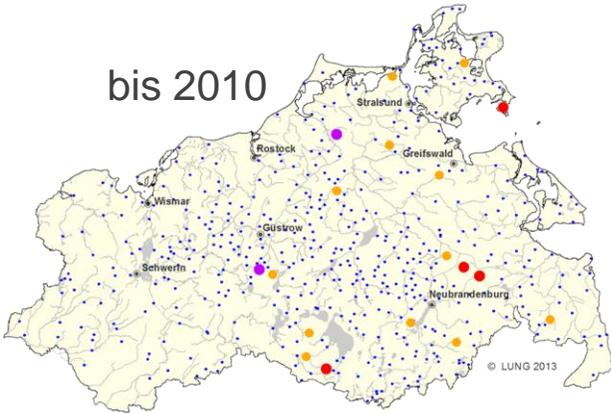
## 4 Aktuelle und geplante Arbeiten des LUNG

In dieser Präsentation sind mit Stand vom Mai 2014 in Ergänzung zu dem Anfang 2013 veröffentlichten Statusbericht zur „Bestandsaufnahme zur Klärung erhöhter Uran-Gehalte im Grund- und Trinkwasser in Mecklenburg-Vorpommern“ ([http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/arbeitsbericht\\_uran\\_mv\\_2012.pdf](http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/arbeitsbericht_uran_mv_2012.pdf)) neue Daten, Ergebnisse und Erkenntnisse aus der fortgeführten Befassung zu den dargelegten Sachverhalten aufgeführt.

Zur besseren Verknüpfung mit dem oben genannten Bericht sind die Bezugsquellen (Kapitel und/oder Abbildung) auf den betreffenden Folien genannt.

# 1.1 Trinkwasser: Öffentliche Wasserversorgung

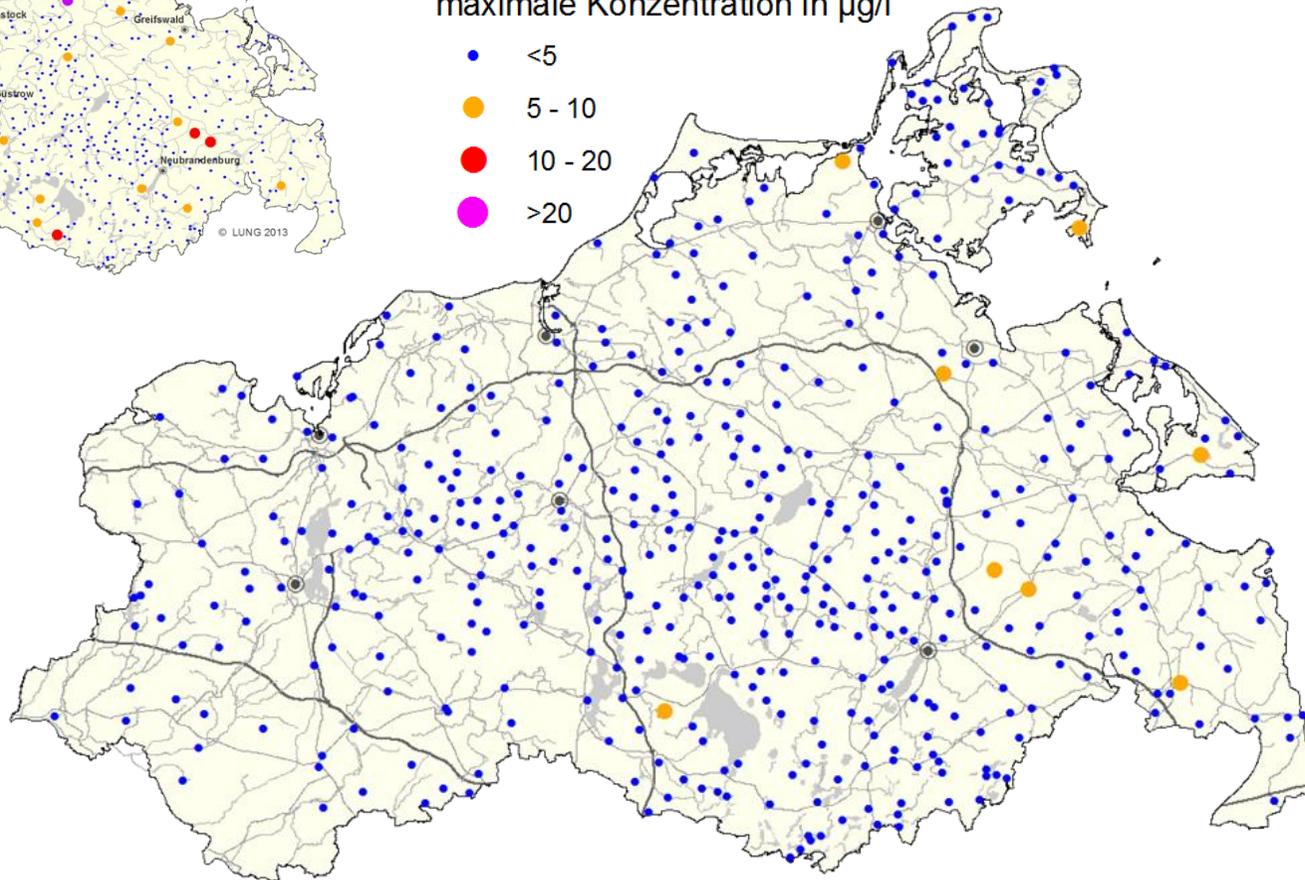
bis 2010



## Uran im Reinwasser

maximale Konzentration in  $\mu\text{g/l}$

- <5
- 5 - 10
- 10 - 20
- >20



Datenquelle: Untersuchungen  
des Landesgesundheitsamtes  
(LAGUS)

Beprobt wird das von den  
Wasserwerken nach der  
Aufbereitung an die  
Bevölkerung abgegebene  
Trinkwasser (Reinwasser).

Die große Karte zeigt den  
jeweils aktuellsten Messwert,  
die kleine Karte wiederholt den  
Stand des Berichtes (Kap. 2.1,  
Abbildung 1).

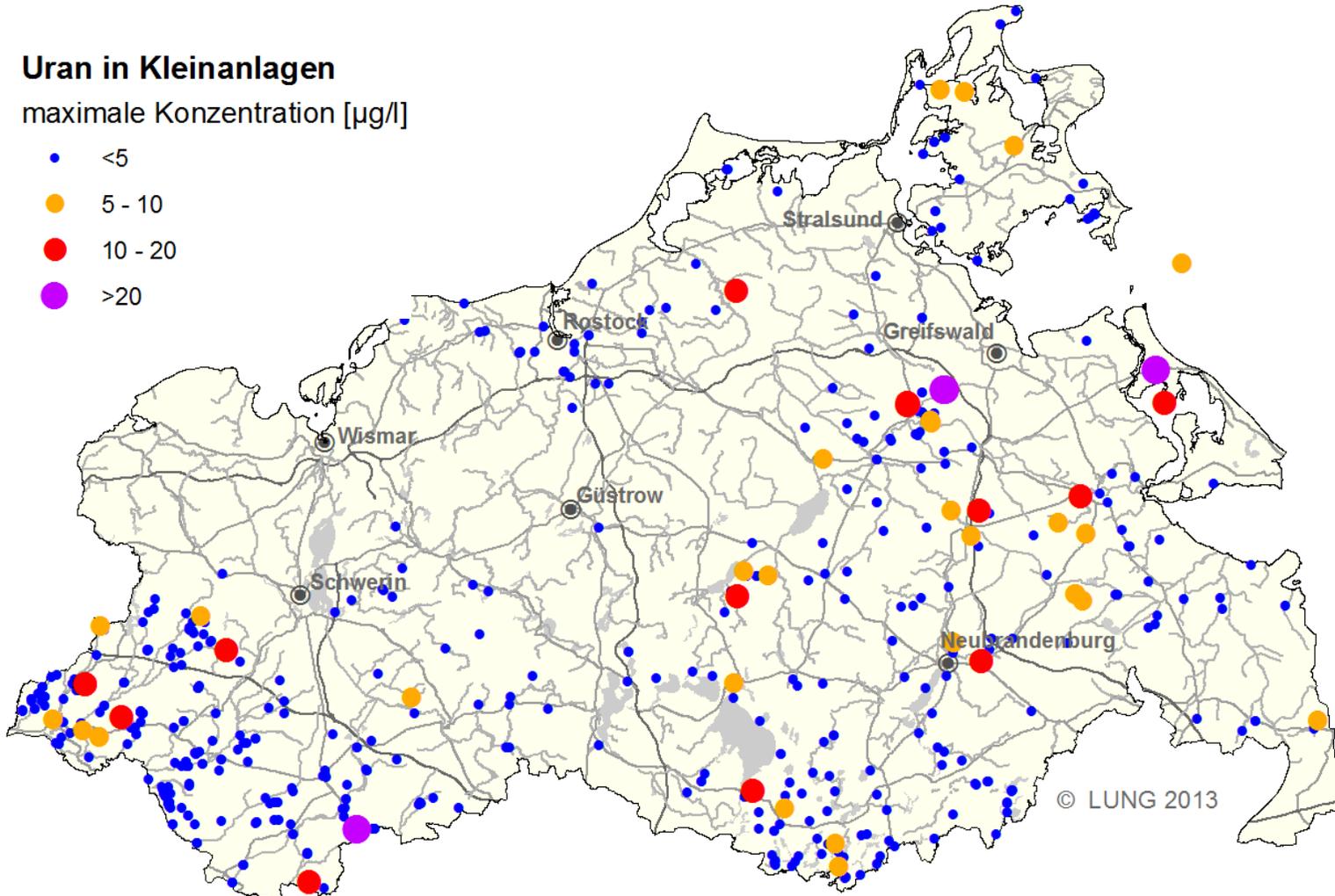
Zeit	2004-2013
n	1355
MAX	27,1
MEDIAN	<0,5

# 1.1 Trinkwasser: Einzelwasser- versorgungsanlagen (Übersichtskarte)

## Uran in Kleinanlagen

maximale Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ]

- <5
- 5 - 10
- 10 - 20
- >20



Datenquelle: Untersuchungen  
des Landesgesundheitsamtes  
(LAGUS)

Aktualisierung der Abbildung 2  
(Kap. 2.1) des Berichtes um  
Daten aus dem Zeitraum 2011 -  
2013

Zeit	2009-2013
n	637
MAX	31,3
MEDIAN	<0,5

# 1.1 Trinkwasser: Höchstwerte in Einzelwasserversorgungsanlagen

Ort	Entnahmedatum	Uran [ $\mu\text{g/l}$ ]
Trantow	03.12.2012	5,4
Zahrendorf	04.06.2013	5,7
Kuhlenfeld	06.11.2012	6,2
Landkreis Uecker-Randow Kleinanlagen	05.11.2012	7,1
Landkreis Demmin Kleinanlagen Bereich DM	06.08.2013	7,8
Liepen	22.05.2013	7,92
Boddin	26.06.2012	8,9
Landkreis Mecklenburg- Strelitz Kleinanlagen	05.07.2012	9
Vorbein (I)	15.08.2013	9,95
Granzin (Greven, LWL)	16.04.2013	10,6
Vorbein (I)	18.07.2013	10,9
Postlow	09.01.2013	11
Vorbein (II)	27.03.2013	13,1
Banzin	12.11.2012	13,5
Zuggelrade	17.09.2012	13,6
Kremmin, OT Bechentin	20.08.2012	14,2
Vorbein (II)	12.04.2013	15,5
Pustow (I)	30.10.2012	19,9
Kussow	14.08.2012	20,1
Pustow (I)	12.11.2012	23,4
Pustow (II)	12.11.2012	30,6
Pustow (II)	26.10.2012	31,3

Datenquelle: Untersuchungen des Landesgesundheitsamtes (LAGUS)

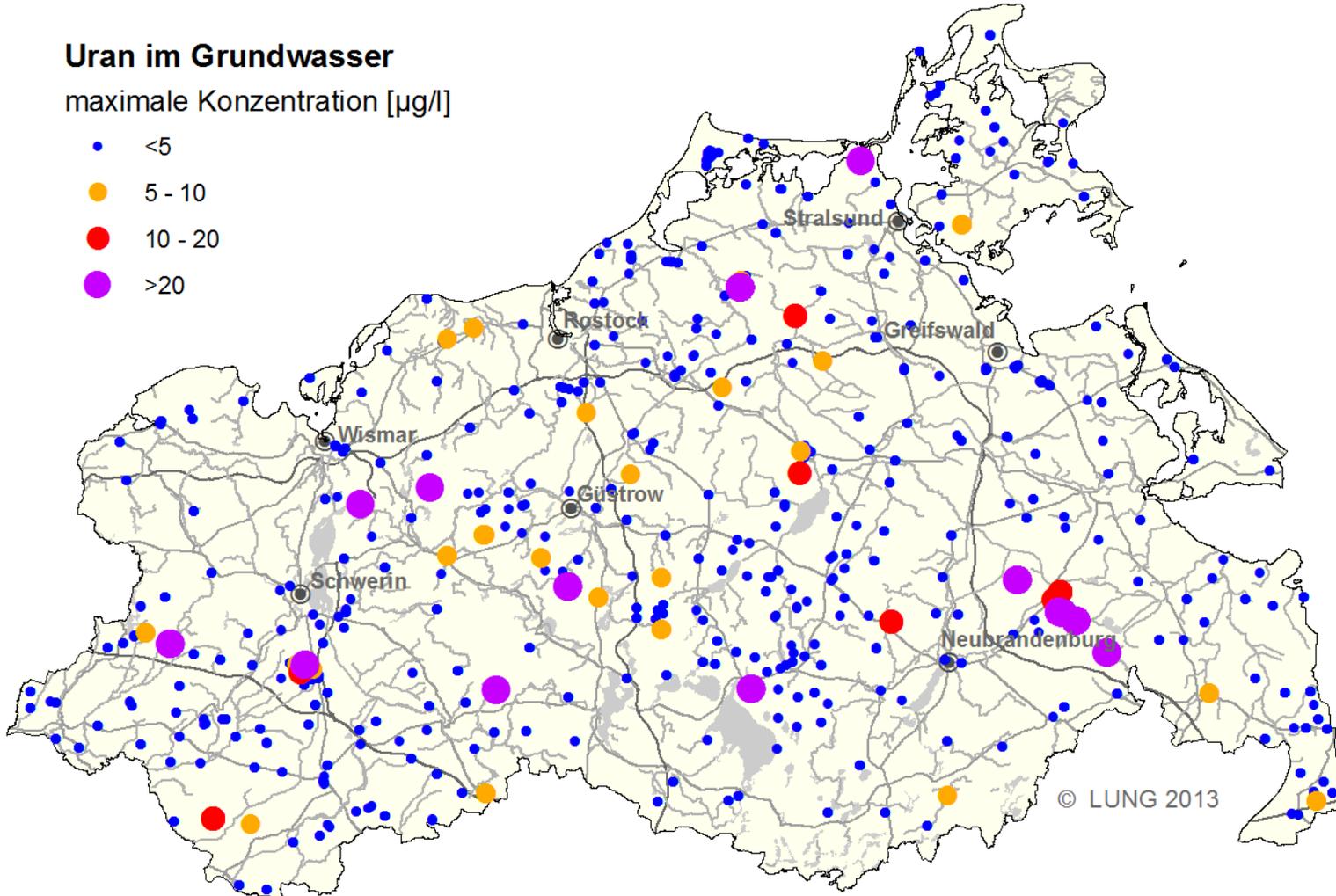
In 22 von insgesamt aktuell 212 untersuchten Kleinanlagen wurde der Wert von 5  $\mu\text{g/l}$  Uran überschritten (s. Kap. 2.1 hier „Kleinanlagen“ des Berichtes).

# 1.2 Grundwasser: Übersichtskarte

## Uran im Grundwasser

maximale Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ]

- <5
- 5 - 10
- 10 - 20
- >20



Datenquelle:  
Landesmessnetz und Brunnen  
(Rohwasser) der öffentlichen  
Wasserversorgung

Aktualisierung der Abbildung 3  
(Kap. 2.2) des Berichtes um die  
Daten aus dem Zeitraum 2011 -  
2012

Zeit	2007-2012
n	2006
MAX	74,9
MEDIAN	0,21

# 1.2 Grundwasser: Jahreshöchstwerte



Datenquelle:  
Landesmessnetz

Die Tabelle führt für die Landesmessstellen, in denen Urankonzentrationen größer 5 µg/l Uran gemessen wurden, die jeweiligen Jahreshöchstwerte auf (Kap. 2.2 des Berichtes).

Messstelle	Datum	Methode	Uran [µg/l]
3/97 Kleekamp	11.09.2008	chemisch	24,3
Bantin	10.09.2009	chemisch	7,75
Bantin	29.06.2011	chemisch	5,58
Brodhagen	30.09.2009	chemisch	5,48
Brodhagen	11.11.2011	chemisch	5,05
Drechow	27.10.2010	chemisch	9,41
Drechow	02.08.2011	chemisch	12,1
Friedland OP	09.10.2007	chemisch/ radiologisch	12,8/ 7,23
Friedland OP	28.10.2008	chemisch/ radiologisch	10,7/ 10,9
Friedland OP	28.10.2009	chemisch/ radiologisch	10,1/ 7,61
Friedland OP	20.05.2010	chemisch/ radiologisch	10,5/ 13,8
Friedland OP	12.10.2011/ 19.10.2011	chemisch/ radiologisch	14,4/ 13,0
Friedland OP	07.11.2012	radiologisch	17,2
Friedland OP	10.04.2013	radiologisch	12,6
Georgenthal	27.10.2008	chemisch	7,9
Georgenthal	30.10.2009	chemisch	13,8
Georgenthal	17.11.2010	chemisch	32,9
Georgenthal	21.09.2011	chemisch	59,3
Georgenthal	17.04.2012	radiologisch	51,0
Gransebieth	16.12.2011	chemisch	8,3
Grebs OP	19.07.2011	chemisch	7,6
Greven OP	21.07.2011	chemisch	27,6
Greven	02.05.2012	radiologisch	18,8

Messstelle	Datum	Methode	Uran [µg/l]
Hohen Wangelin P7	24.09.2007	chemisch	7,10
Hohen Wangelin P7	23.10.2008	chemisch	6,99
Hohen Wangelin P7	16.10.2009	chemisch	5,32
Hohen Wangelin P7	30.10.2010	chemisch	5,99
Hohen Wangelin P7	22.11.2011	chemisch	5,10
Karft OP	14.09.2009	chemisch	23,7
Karft OP	09.09.2010	chemisch	21,8
Karft OP	22.09.2011	chemisch	21,2
Karft	26.04.2012	radiologisch	27,7
Knegendorf	07.06.2011	chemisch	5,38
Langhagen	22.09.2007	chemisch	5,24
Langhagen	23.10.2008	chemisch	5,31
Mankmoos Hy4/93	18.09.2007	chemisch	17,7
Mankmoos Hy4/93	16.09.2008	chemisch	18,5
Mankmoos Hy4/93	30.04.2009	chemisch	18,3
Mankmoos Hy4/93	18.09.2010	chemisch	20,2
Mankmoos Hy4/93	25.10.2011	chemisch	19,6
Mankmoos Hy4/93	07.05.2012	radiologisch	17,8
Nadrensee OP	29.10.2007	chemisch	6,28
Nadrensee OP	30.10.2008	chemisch	5,66
Nadrensee OP	06.11.2009	chemisch	6,26
Nadrensee OP	21.05.2010	chemisch	5,24
Pasewalk Ost	21.09.2011	chemisch	5,52

Messstelle	Datum	Methode	Uran [µg/l]
Poseritz UP	02.11.2007	chemisch	5,39
Poseritz UP	24.09.2008	chemisch	5,34
Poseritz UP	10.11.2009	chemisch	5,66
Poseritz UP	09.05.2010	chemisch	5,43
Poseritz UP	18.10.2011	chemisch	5,10
Sabel Ausbau	27.05.2011	chemisch	8,91
Steinmühle	22.10.2008	chemisch	5,10
Sternberg	10.09.2009	chemisch	7,01
Sternberg	08.04.2010	chemisch	6,32
Sternberg	18.10.2011	chemisch	5,07
Suckow/Parchim	13.05.2008	chemisch	6,00
Suckow/Parchim	23.09.2009	chemisch	7,29
Suckow/Parchim	20.09.2010	chemisch	6,31
Suckow/Parchim	12.10.2011	chemisch	5,78
Tewswos	05.09.2007	chemisch	12,2
Tewswos	23.09.2008	chemisch	16,0
Tewswos	21.09.2009	chemisch	14,6
Tewswos	17.09.2010	chemisch	13,2
Tewswos	11.10.2011	chemisch	15,8
Waren-Feisneck OP	05.10.2007	chemisch	33,8
Waren-Feisneck OP	25.10.2008	chemisch	30,0
Waren-Feisneck OP	20.10.2009	chemisch	29,4
Waren-Feisneck OP	03.11.2010	chemisch	30,2
Waren-Feisneck OP	17.11.2011	chemisch	33,2
Waren-Feisneck OP	02.05.2012	radiologisch	24,7

Zeit 2007-2012

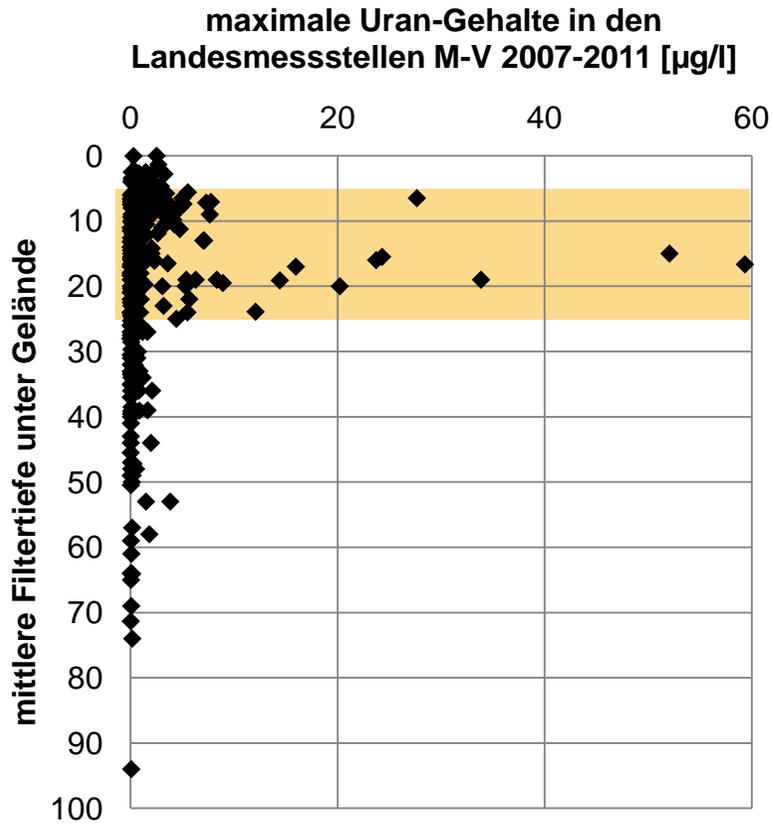
n 2006

MAX 74,9

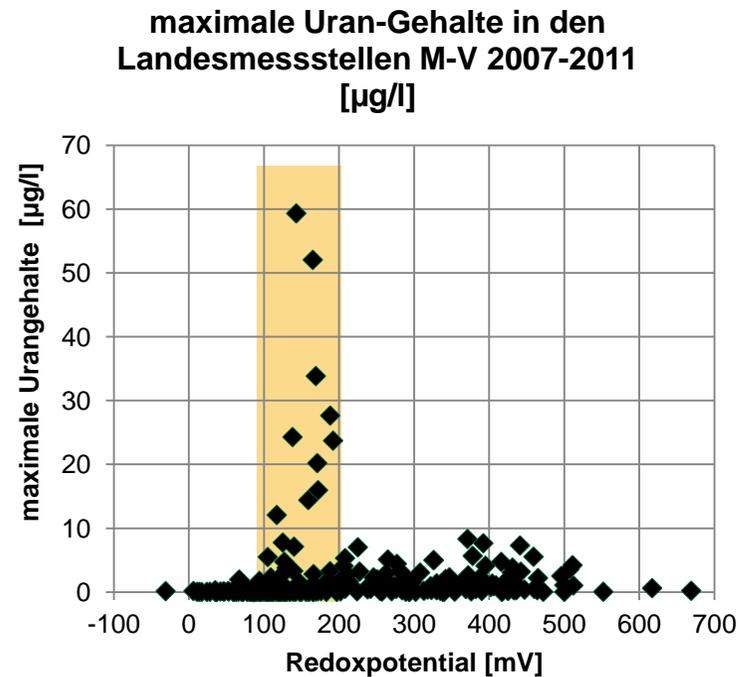
MEDIAN 0,21

# 1.2 Grundwasser: Tiefen- und Redoxabhängigkeit der Uran-Gehalte

## Tiefenabhängigkeit



## Redoxabhängigkeit



Datenquelle: Untersuchungen  
des LUNG

Aktualisierung der Abbildungen  
21 und 31 oben (Kap 3.2.1.2  
bzw. 3.2.2.2) des Berichtes um  
die Daten aus dem Jahr 2011

# 1.3 Uranisotopenverhältnisse in untersuchten Grundwässern

Das Nuklidverhältnis der Urannuklide 234 zu 238 (UAR) kann auf die Herkunft des Uran (geogen – anthropogen) hindeuten (s. Bericht Kap. 3.2.2.4 Uran-Isotopenanalysen):

- Alle Werte > 1,1 (bis >2) zeigen die aus der Literatur bekannten Verhältnisse (z. B. in Ozeanen 1,14)
- Werte < 1,05 können auf anthropogen (durch Düngung) verursachte Redoxvorgänge im System Boden/Grundwasser hinweisen

Ort	Datum	U-234 [Bq/l]	U-235 [Bq/l]	U-238 [Bq/l]	Uran [µg/l]	U234/U238 (UAR)
GWMS Friedland	26.08.2011	0,287	0,0076	0,216	17,4	1,33
GWMS Karft/Wittendörp	26.04.2012	0,309	0,0112	0,259	20,88	1,19
GWMS Friedland	07.11.2012	0,233	0,0078	0,195	15,8	1,19
Brunnen Lübbersdorf/Galenbeck	20.02.2012	0,111	0,004	0,096	7,7	1,16
GWMS Feisnecksee/Waren (Müritz)	02.05.2012	0,324	0,013	0,219	23,45	1,11
GWMS Friedland	19.10.2011	0,17	< 0,007	0,154	12,4	1,1
Brunnen Lübbersdorf/Galenbeck	07.05.2013	0,522	0,0269	0,473	38,3	1,1
GWMS Greven/Granzin	02.05.2012	0,225	0,0116	0,207	16,68	1,09
GWMS Friedland	10.04.2013	0,163	0,0084	0,149	12,1	1,09
Brunnen Lübbersdorf/Galenbeck	14.11.2012	0,280	0,0129	0,263	21,3	1,06
GWMS Friedland	17.04.2012	0,205	< 0,0097	0,198	16	1,04
<b>GWMS Mankmoos/Warin</b>	<b>07.05.2012</b>	<b>0,233</b>	<b>0,00966</b>	<b>0,226</b>	<b>18,22</b>	<b>1,03</b>
<b>GWMS Georgenthal/Strasburg</b>	<b>17.04.2012</b>	<b>0,643</b>	<b>0,026</b>	<b>0,63</b>	<b>50,78</b>	<b>1,02</b>
Brunnen Lübbersdorf/Galenbeck	05.12.2011	0,175	0,0077	0,172	13,9	1,02

GWMS = Grundwassermessstelle

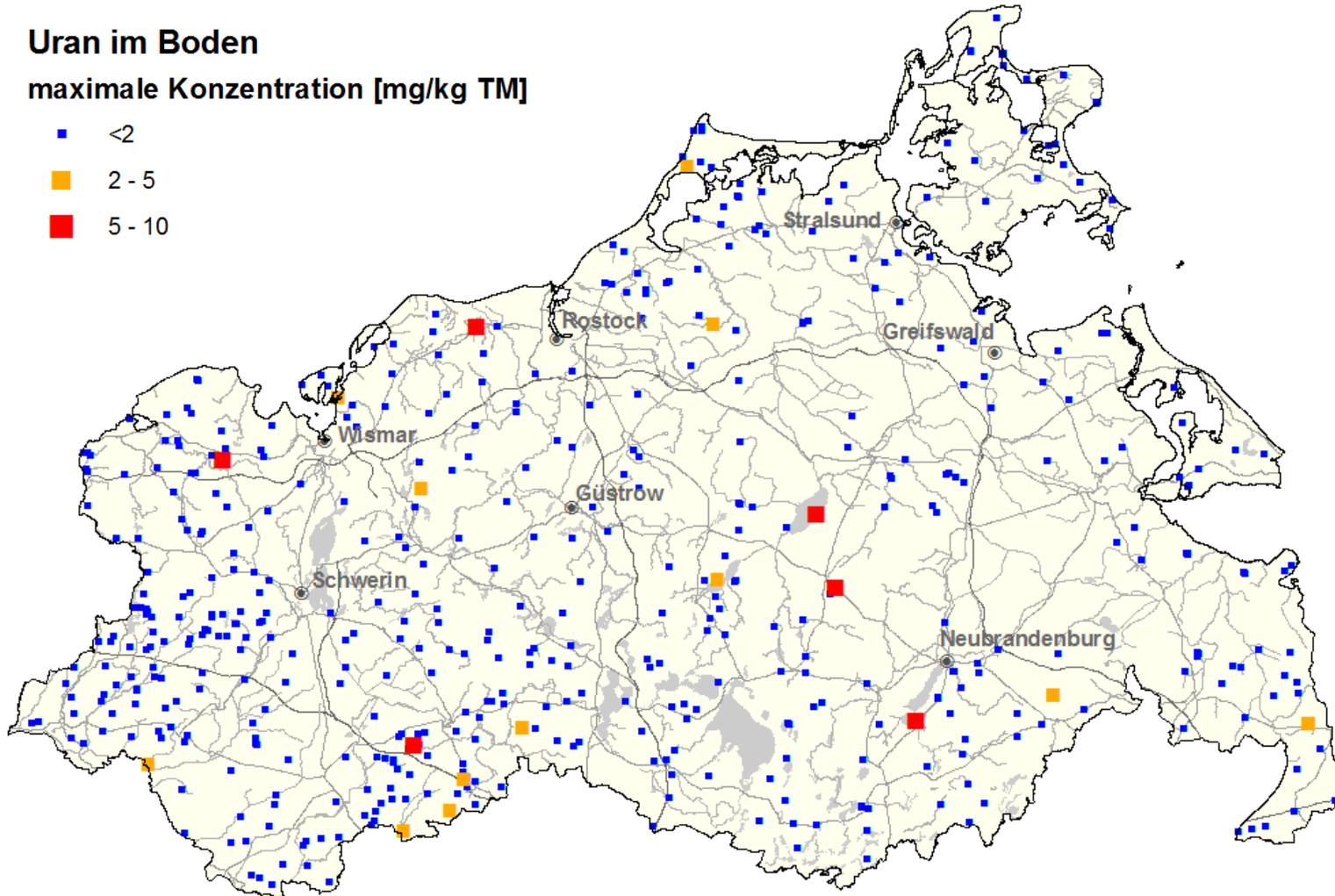
Brunnen = Rohwasser aus Trinkwasserbrunnen

# 1.4 Boden: Übersichtskarte

## Uran im Boden

maximale Konzentration [mg/kg TM]

- <2
- 2 - 5
- 5 - 10



Datenquelle:

Fachinformationssystem-Boden  
MV

profilbezogene Uran-  
Maximalwerte

Beprobung: horizontweise

Vgl. Kap. 2.5.1 Bericht,  
Abbildung 10 des Berichtes  
überarbeitet und aktualisiert

Zeit	2006-2009
Anzahl Profile	559
n	2644
MAX	9,25
MEDIAN	0,38

# 1.4 Boden: Höchstwerte



Die Tabelle führt alle Ortstagen auf, in denen in Bodenproben Urankonzentrationen über 5 mg/kg Trockenmasse gemessen wurden.

Gemeinde (Landkreis)	Entnahmetiefe [cm]	Horizont Bodenart	Urangehalt [mg/kg TM]
Spornitz (Ludwigslust-Parchim)	170-200	fF Fmu	9,25
Grevesmühlen (Nordwestmecklenburg)	0-40	Ah Ss(fSms)	8,80
Sommersdorf (Mecklenburgische Seenplatte)	144-200	nH Hn	6,84
Ritzerow (Mecklenburgische Seenplatte)	0-33	Aa Sl2	6,24
Bad Doberan (Landkreis Rostock)	0-44	Ah Sl2	5,65
Groß Nemerow (Mecklenburgische Seenplatte)	171-200	Gr Ls2	5,38

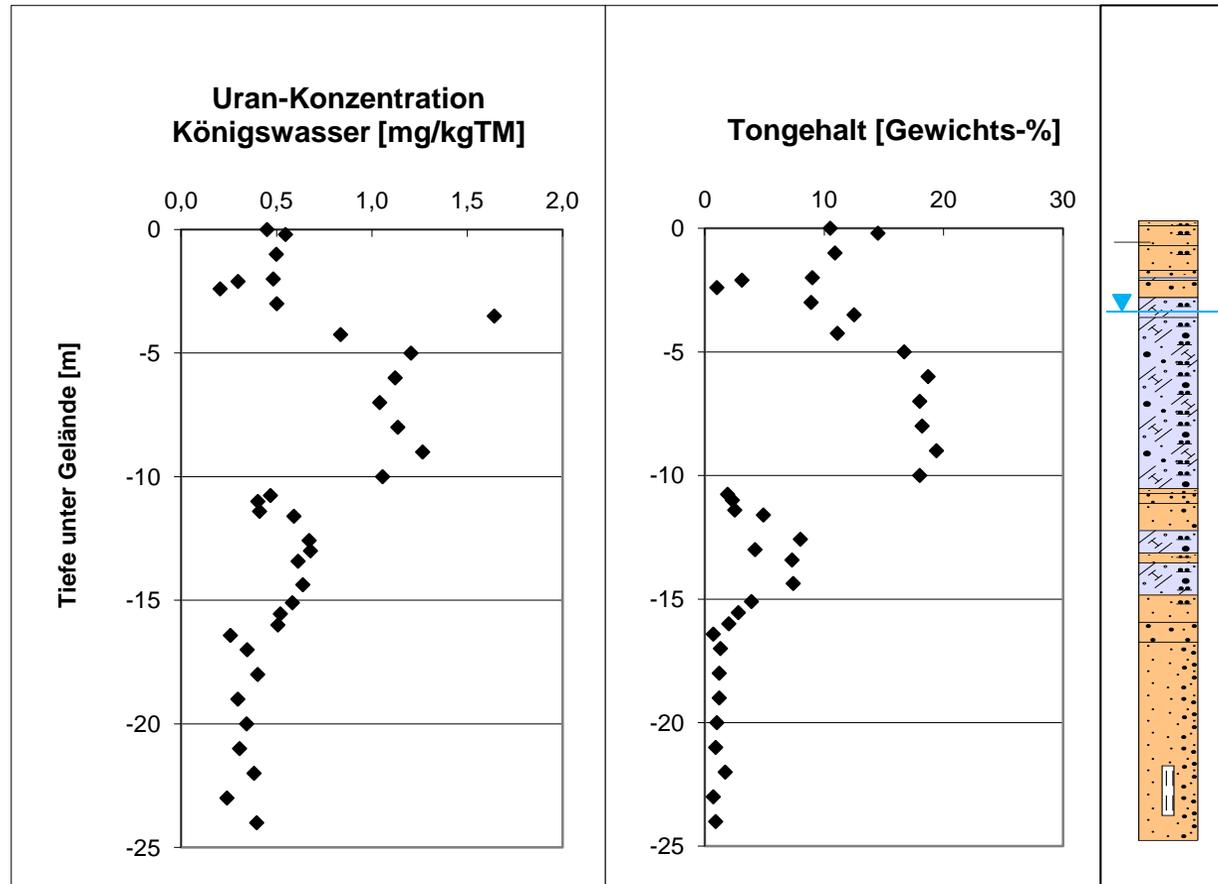
Zeit	2006-2009
Anzahl Profile	559
n	2644
MAX	9,25
MEDIAN	0,38

# 1.5 Gesteinsuntersuchungen: Kernbohrung Schlemmin 2009



Die Messwerte widerspiegeln die aus der Literatur bekannte Tatsache, dass Urangehalte in Tonen erhöht sind und dadurch mit den Tongehalten eng korrelieren (hier  $r^2=0,8$ ) (Bezug Kap. 3.2.1)

Einzige Ausnahme ist Probe 8 mit  $c(U) = 1,64$  mg/kg.



Zeit	2009
n	35
MAX	1,64
MEDIAN	0,50

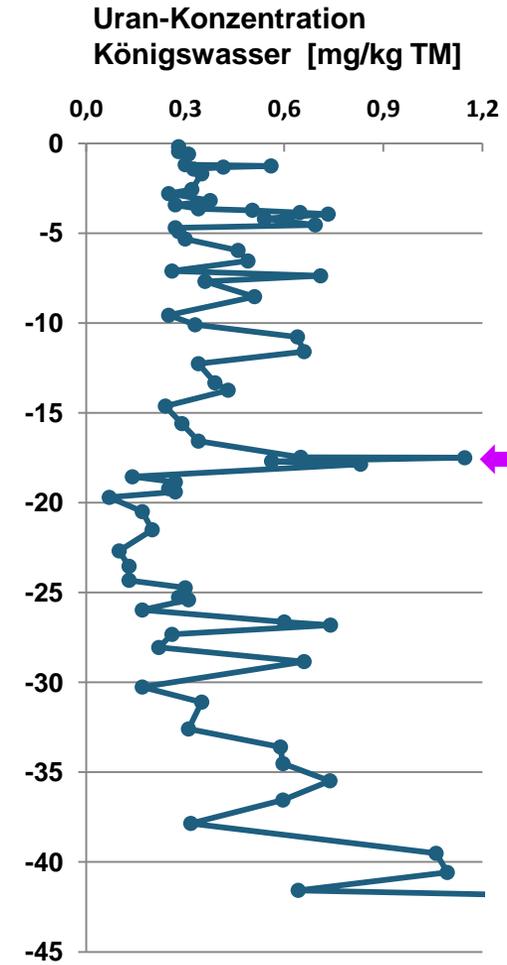
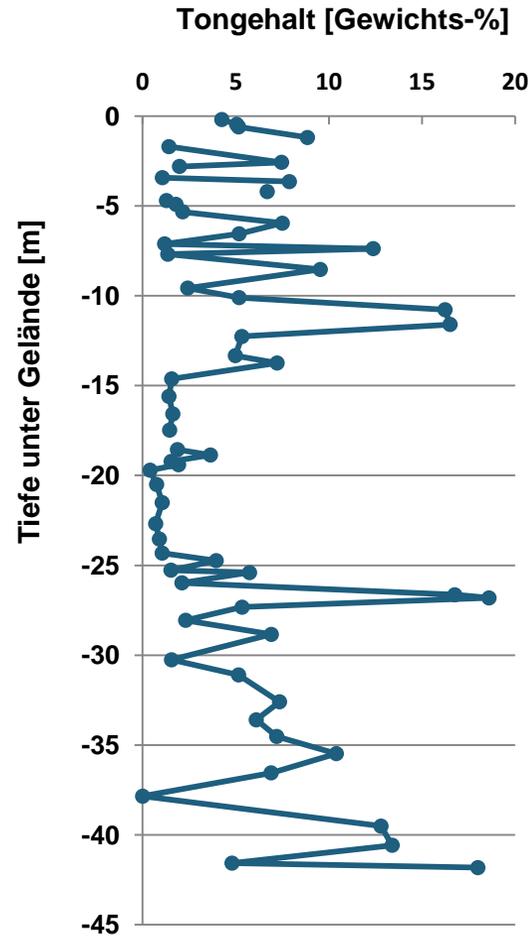
# 1.5 Gesteinsuntersuchungen: Kernbohrung Friedland 2012



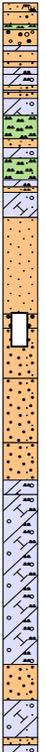
Zusammenhänge zwischen Uran und Ton:

- Bis auf kleine Bereiche bei 12 und 27 m und ab 40 m Tiefe sind die Tongehalte gering
- Gute Korrelation von Ton und Uran, außer im Bereich von 15 bis 20 m
- Starke Anomalie (Pfeil) in der Korrelation von Uran und Ton bei 17-18 m: Uranerhöhung bei sehr niedrigen Tongehalten
- Hohe Urangehalte im sandigen Sediment des Filterbereichs, der uranbelastetes Wasser fördert

Zeit	2012
n	72
MAX	1,29
MEDIAN	0,34



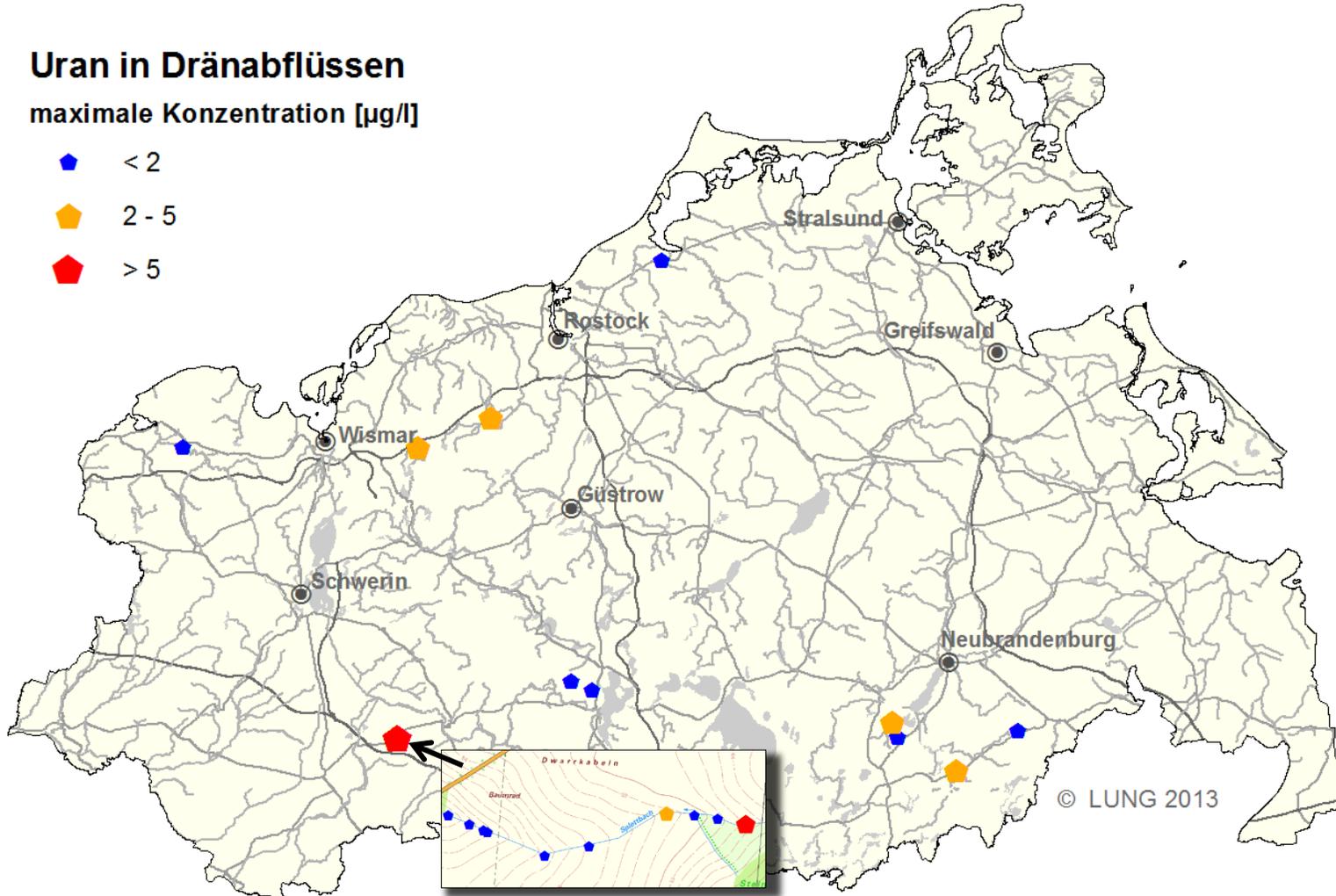
Bohrprofil



# 1.6 Dränausläufe: Übersichtskarte

## Uran in Dränabflüssen maximale Konzentration [ $\mu\text{g/l}$ ]

- ◆ < 2
- ◆ 2 - 5
- ◆ > 5



Datenquelle:

Sondermessprogramm  
Dränausläufe

(LUNG 2012-13)

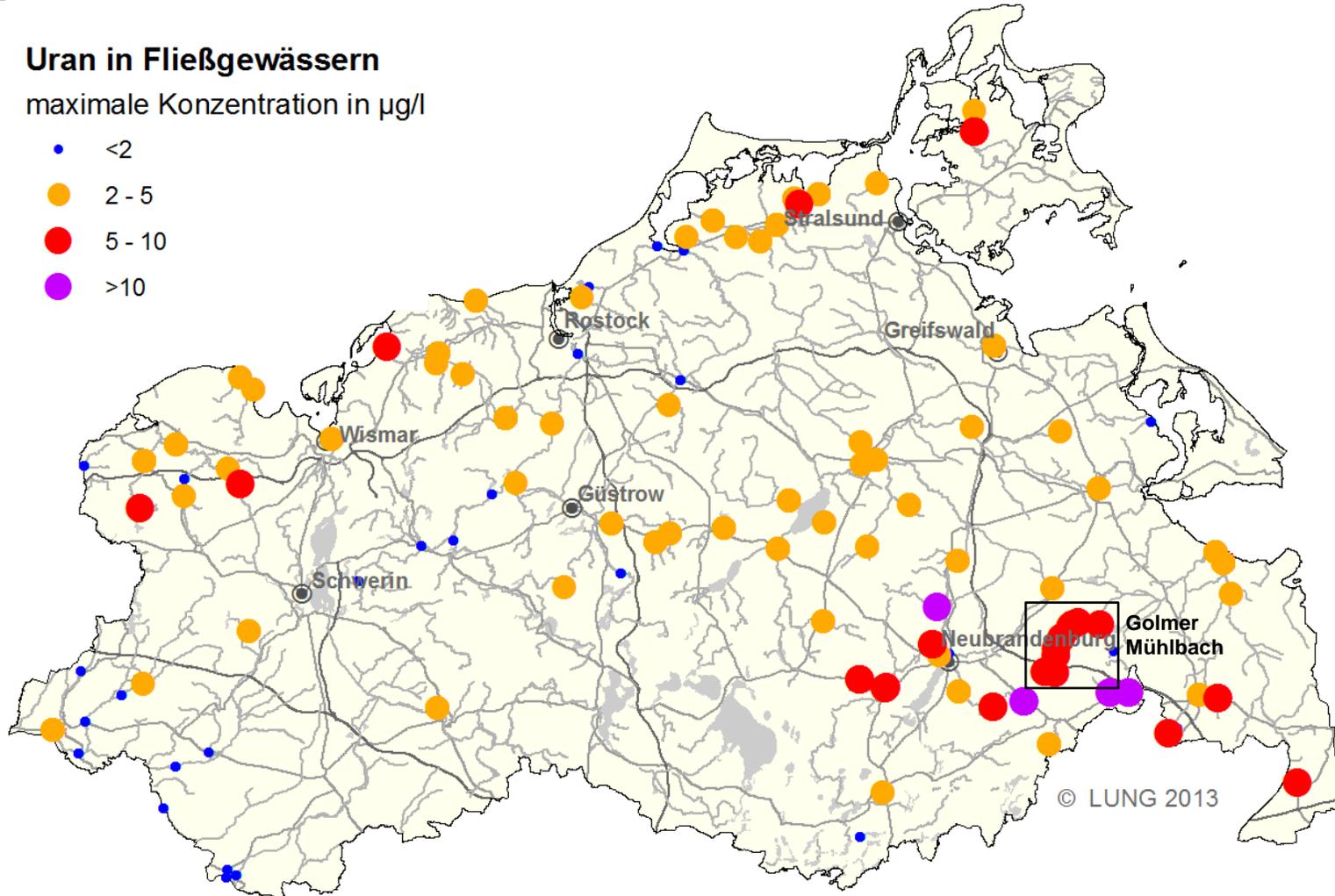
Die Fläche „Spornitz“ (siehe kleine Karte) wurde am 17.04.2013 an mehreren Rohren beprobt, um die Variabilität der Stoff-Konzentrationen zu untersuchen.

Zeit	11.2012-04.2013
Dränausläufe	20
n	232
MAX	7,22
MEDIAN	0,97

# 1.7 Fließgewässer: Übersichtskarte

## Uran in Fließgewässern maximale Konzentration in µg/l

- <2
- 2 - 5
- 5 - 10
- >10



Datenquelle:

Monitoring der Fließgewässer –  
Schwermetalle (LUNG) 2007-  
2012

Zusätzlich dargestellt ist die  
Sonderbeprobung des Golmer  
Mühlbaches im Winter 2012-  
2013.

Zeit	2007-2013
n	2286
MAX	16,61
MEDIAN	1,38

# 1.7 Fließgewässer: Höchstwerte

Gewässer	Messstelle	Datum	Uran [ $\mu\text{g/l}$ ]
Bach aus Neu Kaebelich	w.W Alt Kaebelich	08.04.2009	14,6
Badrescher Graben	o.Mdg. in Golmer Mühlbach	13.12.2012	5,01
Badrescher Graben	o.Mdg. in Golmer Mühlbach	19.02.2013	9,73
Boitinbach	Penzlin	29.02.2012	5,38
Boitinbach	Penzlin	25.02.2013	5,82
Duvenbaek	Kluis	03.03.2009	6,27
Duvenbaek	Kluis	05.01.2010	9,06
Duvenbaek	Kluis	04.01.2011	5,60
Duvenböck	Kluis	04.12.2012	6,63
Golmer Mühlbach	Brohm OP Golm 4	19.02.2013	6,95
Golmer Mühlbach	an K 46 NW Ulrichshof Golm 6	13.12.2012	5,00
Golmer Mühlbach	an K 46 NW Ulrichshof Golm 6	19.02.2013	9,19
Golmer Mühlbach	u. Schönbeck Golm 5	20.02.2013	8,08
Golmer Mühlbach	Alte Mühle Golm 2	19.02.2013	6,25
Golmer Mühlbach	Brohm UP Golm 3	19.02.2013	6,67
Golmer Mühlbach	Galenbeck o. Golm 1	20.02.2013	5,32
Hellbach	Tessmannsdorf	24.01.2012	7,89
Kleine Randow	Krackow	25.05.2010	5,77

Gewässer	Messstelle	Datum	Uran [ $\mu\text{g/l}$ ]
Krummenfurthbach	Gross Luckow sw	15.11.2011	9,38
Linde	Burg Stargard o.	08.04.2009	7,57
Lübbersdorfer Meiereigraben	o.Mdg. In Golmer Mühlbach	19.02.2013	8,80
Malliner Wasser	Woggersin	10.12.2007	6,73
Maurine	u.Carlow	03.02.2010	6,28
Miltzower Bach	L 281 Holzendorf	13.12.2012	8,96
Miltzower Bach	L 281 Holzendorf	19.02.2013	9,04
Papenbach	Papenbeck	15.09.2009	5,61
Strasburger Mühlbach	Ravensmühle	26.02.2013	7,63
Strasburger Mühlbach	Nechlin	26.02.2013	5,24
Strasburger Mühlbach	Ravensmuehle	09.02.2010	10,6
Strasburger Mühlbach	Strasburg o.	14.04.2009	10,2
Teetzlebener Mühlbach	Teetzleben	06.02.2012	16,6
Uhlenbaek	Flemendorf	09.02.2010	6,01
Upahler Bach	Upahl	23.03.2009	5,94

Datenquelle:

Monitoring der Fließgewässer – Schwermetalle (LUNG)

Die Tabelle führt die jeweiligen Jahreshöchstwerte für die Messstellen, in denen Urankonzentrationen größer 5  $\mu\text{g/l}$  Uran gemessen wurden, auf.

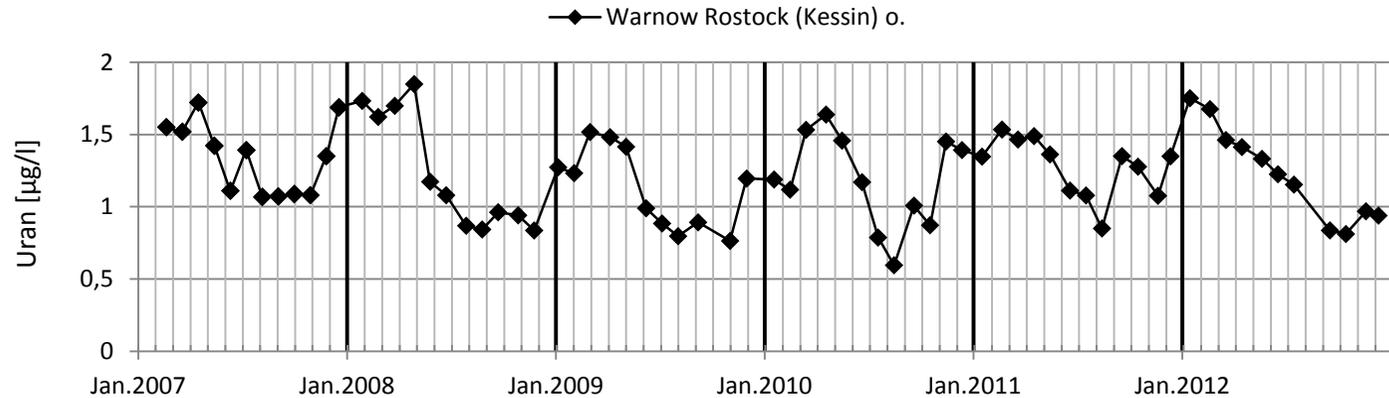
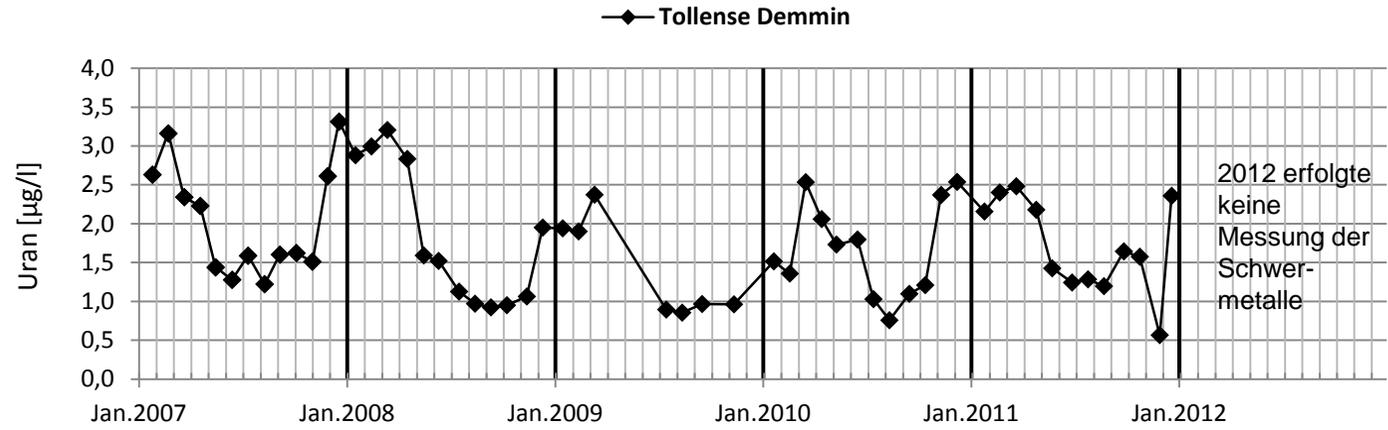
Zeit	2007-2013
n	2286
MAX	16,61
MEDIAN	1,38

# 1.7 Fließgewässer: Jahresgang

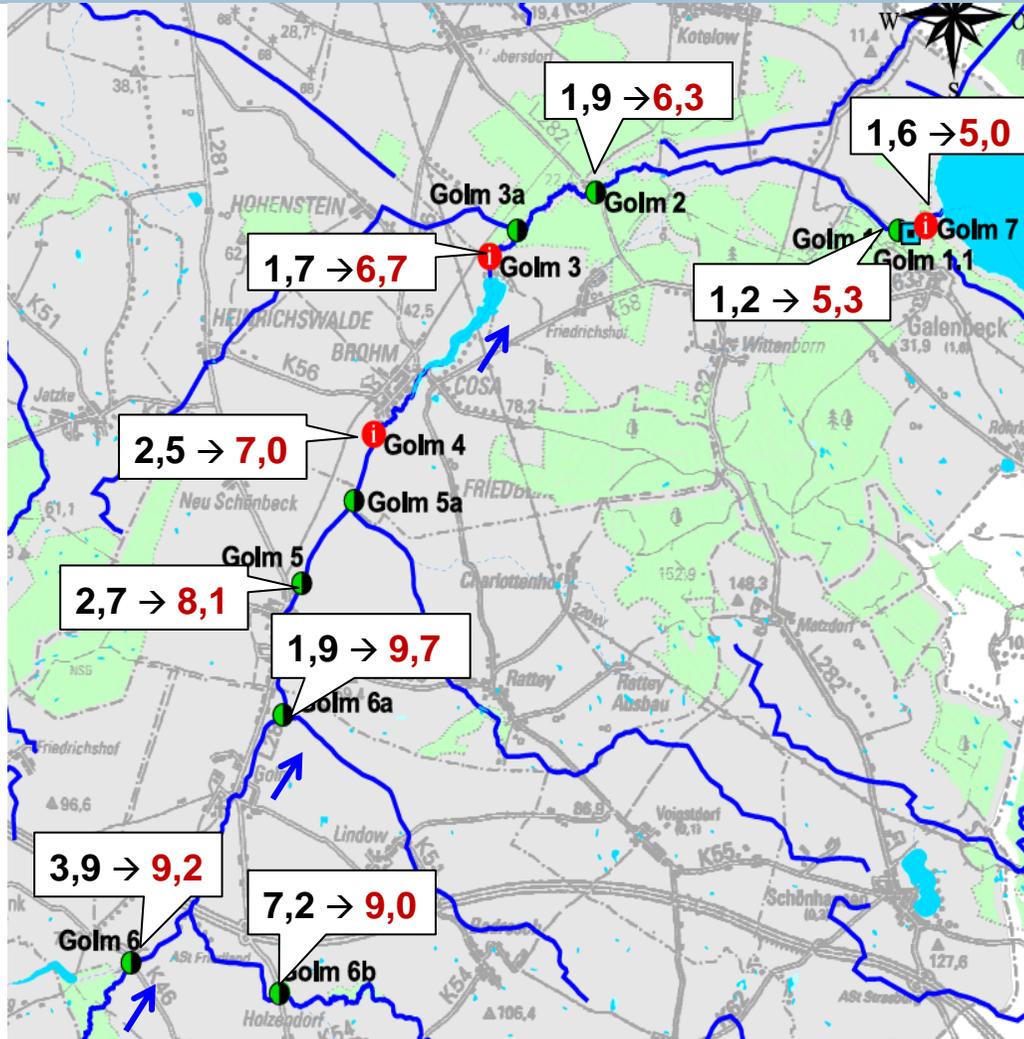


Datenquelle: Monitoring der Fließgewässer – Schwermetalle

Alle Fließgewässer in Mecklenburg-Vorpommern zeigen unabhängig von der Höhe der Konzentration einen deutlichen Jahresgang der Uran-Konzentration. (Kap 2.3)



# 1.7 Fließgewässer: Sonderuntersuchung Golmer Mühlbach



- **Schwarze Zahl:** Urankonzentration [µg/l] im November 2012 - **Rote Zahl:** Urankonzentration im Februar 2013
- starker Anstieg der Konzentrationen von November bis Februar
- Abnahme der Konzentrationen im Längsschnitt:

höchste Konzentrationen im Oberlauf mit den meist verrohrten Zuflüssen - niedrigste Konzentration vor der Mündung in den Galenbecker See



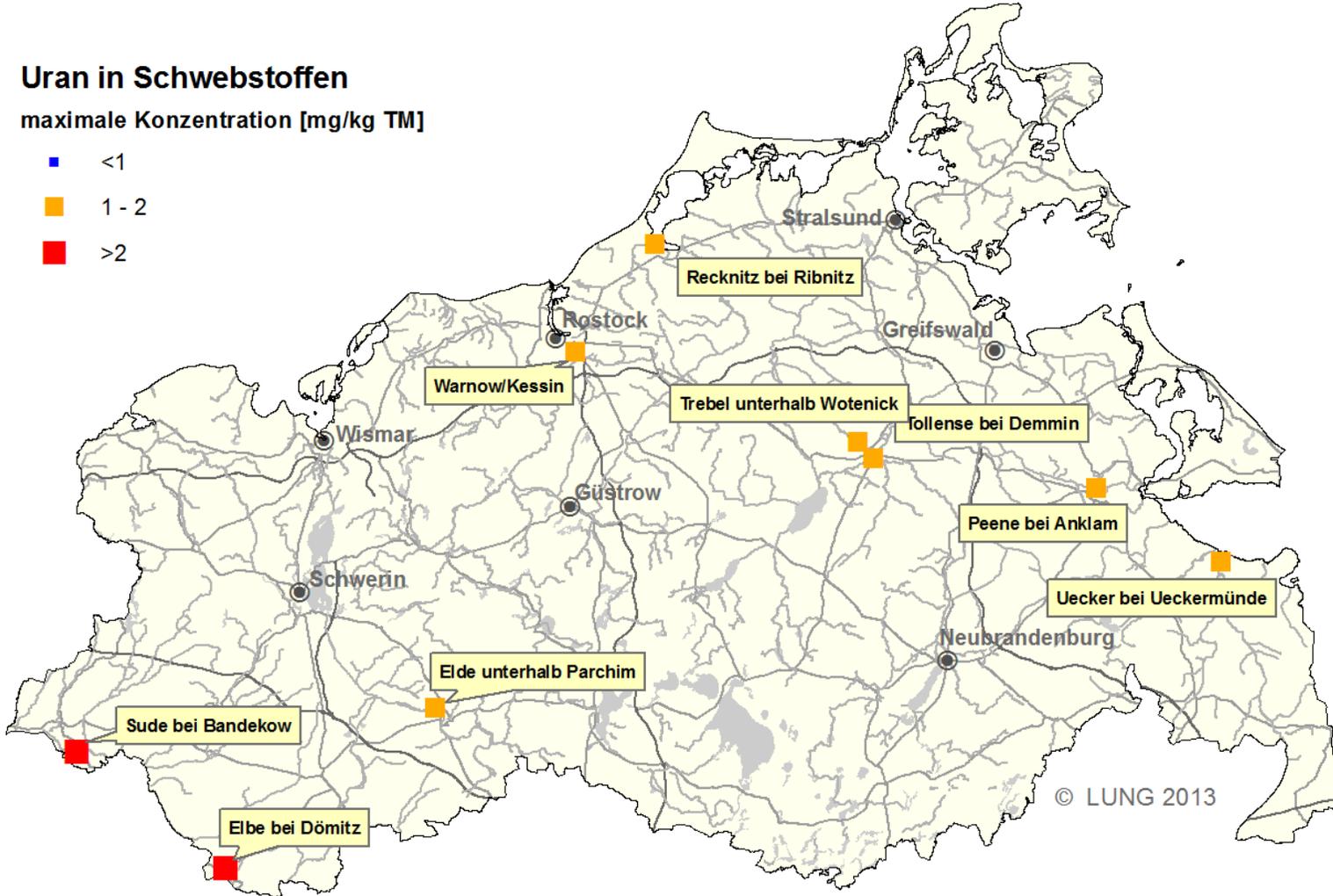
„Schlucker“ in einem Soll

# 1.7 Fließgewässer: Schwebstoffe

## Uran in Schwebstoffen

maximale Konzentration [mg/kg TM]

- <1
- 1 - 2
- >2



Datenquelle:

Monitoring der Fließgewässer –  
Schwebstoffe (LUNG)

Ergänzung zu Kap. 2.3 um  
weitere Daten und  
Auswertungen

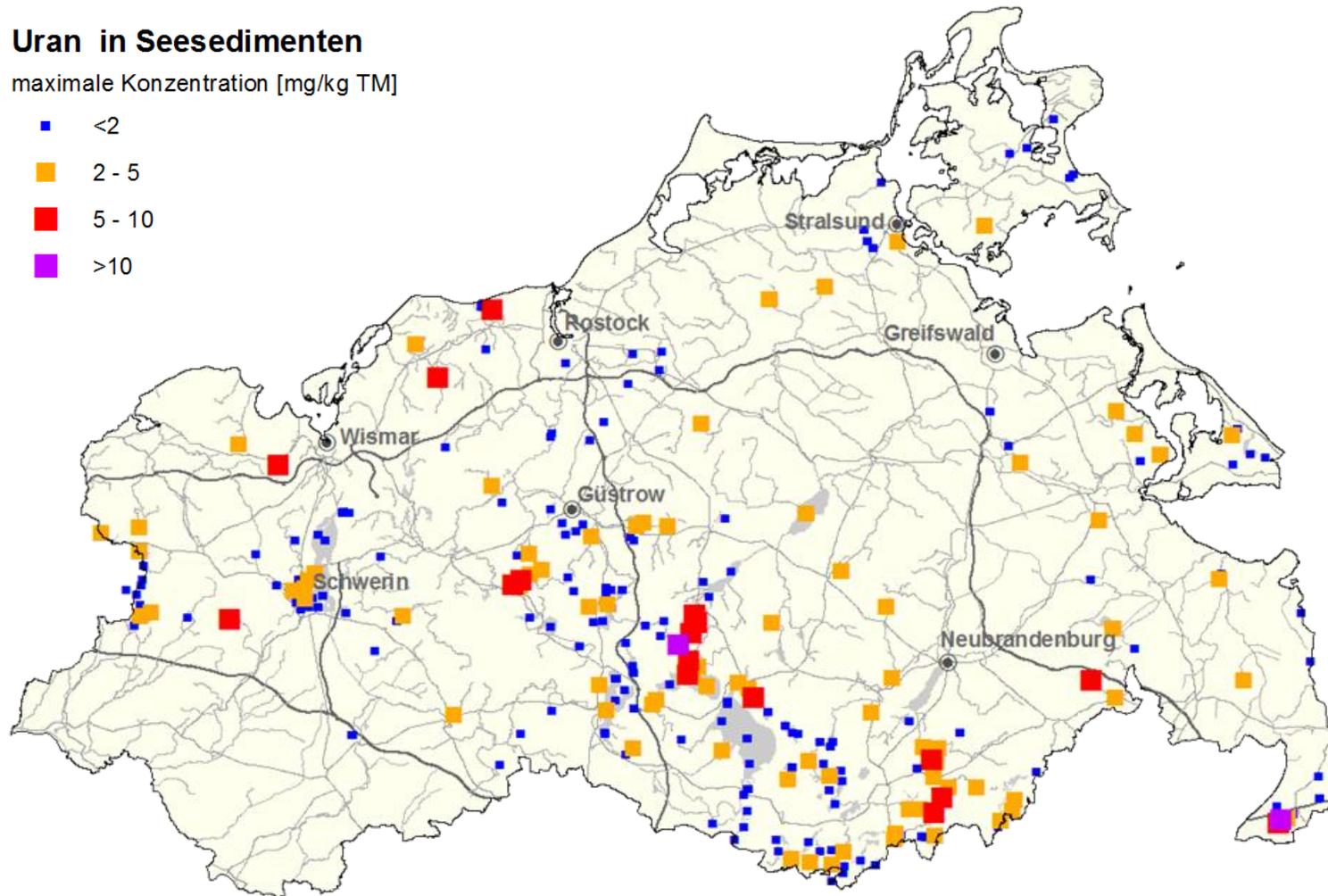
Zeit	2007-2011
n	491
MAX	3,1
MEDIAN	0,70

# 1.8 Seesedimente: Übersichtskarte

## Uran in Seesedimenten

maximale Konzentration [mg/kg TM]

- <2
- 2 - 5
- 5 - 10
- >10



### Seesedimente als Senken für Uran

Datenquelle: Monitoring der Seen (LUNG)

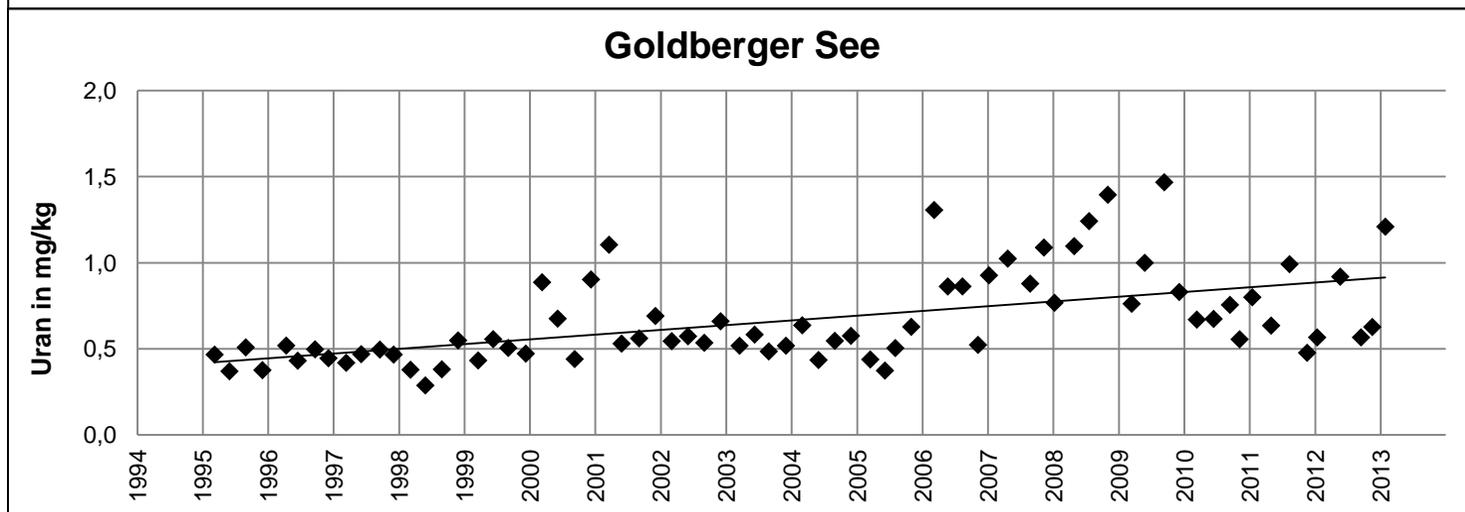
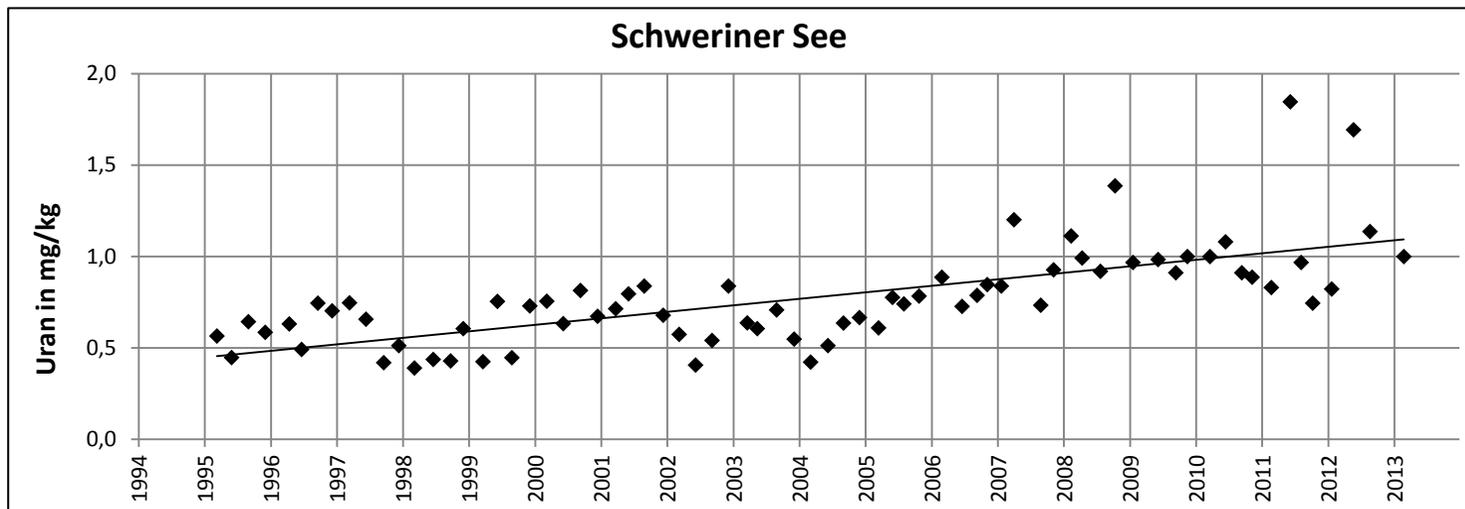
Entnahmestelle der Sedimentproben:

Tiefste Stelle der Becken und Teilbecken

Erweiterung der Datenlage zu Abbildung 7 des Berichtes (Kap. 2.4.1)

Zeit	2007-2011
n	400
MAX	10,56
MEDIAN	1,55

# 1.8 Seesedimente: Zeitreihe des Schweriner und des Goldberger See



Datenquelle: Radioaktivitäts-  
überwachung des Landes  
(LUNG)

Entnahmestelle der  
Sedimentproben: Ufernähe

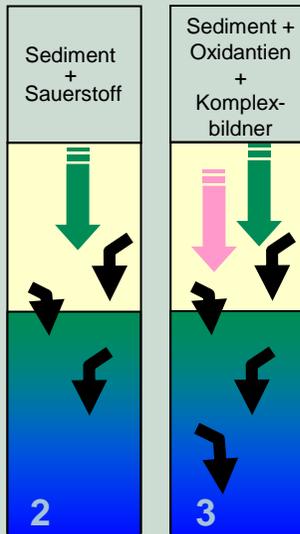
Seit vielen Jahren werden 12  
Seen, die alle im Laufe der  
Jahre langsam steigende  
Urankonzentrationen zeigen,  
regelmäßig beprobt.

(s. Kap. 2.4.2)

Zeit	1994 - 2013
n	882
MAX	1,99
MEDIAN	0,74

## 2. Arbeitshypothese Roll-front: Änderungen der Uranmobilität aufgrund Nitratabbau-induzierter Redoxänderungen

Zur Klärung der Herkunft des Urans waren im Bericht verschiedene Hypothesen aufgestellt, die im weiteren untersucht wurden (s. Kap. 3.2).



Während die Hypothesen 1 und 4 als alleinige Mechanismen bereits früh ausgeschlossen werden konnten (s. Kap. 3.2.1.2 bzw. 3.2.3), wiesen die Ergebnisse der Grundwassertypisierungen auf die Hypothese 3 hin (s. Kap. 3.2.2.3). Ebenso deuten die festgestellten Tiefen- und Redoxabhängigkeiten der vorliegenden Uranbefunde auf chemische Vorgänge im Grundwasserraum hin. Mit der Annahme, dass Nitrat als zusätzliches Oxidationsmittel für Redoxreaktionen im Grundwasserraum dient, wurde dieser Ansatz weiter verfolgt:

In einem natürlichen System stehen die Einträge in das Grundwasser von Oxidationsmitteln (gelöster Sauerstoff) und Reduktionsmitteln (gelöster organischer Kohlenstoff) sich ungefähr ausgleichend gegenüber. Grundwasserleiter enthalten ein Feststoffdepot mit Nitratabbauvermögen (reduzierende Zone):

- Feststoffphasen mit Eisen-II,
- Schwefel (-I/-II) (Eisenmonosulfide, Pyrit) und
- feststoffgebundene abbaubare organische Kohlenstoff ( $C_{org}$ )-Verbindungen ( $CH_2O$  (s)).

Durch Nitratreintrag ( $NO_3^-$ ) wird dem Grundwasserleiter zusätzlich ein starkes Oxidationsmittel hinzugefügt, das im Untergrund chemische Reaktionen auslöst, die unter Bildung von Sulfat und Stickstoff zum Nitratabbau führen. Dabei werden die reduzierenden Phasen aufgebraucht, es entsteht eine oxidierte Zone, Nitrat kann tiefer in den Grundwasserleiter vordringen.

Auch geogen vorhandene Uranminerale (symbolisiert als  $UO_2(s)$ ) werden durch das Oxidationsmittel Nitrat entsprechend gelöst mit der Folge erhöhter Uran-Konzentrationen im Grundwasser. Gelangt das Uran im natürlichen Grundwasserabstrom wieder unter reduzierende (ursprüngliche) Bedingungen, fällt es als Feststoff-Verbindung durch Reduktion (Umkehr der oben beschriebenen Reaktion) aus ( $UO_2(s; amorph)$ ) aus. Dringt die Nitratfront weiter vor (Verlagerung der oxidierenden Zone), wird das feste Uran wieder gelöst. Dieser sich ständig wiederholende Vorgang der Mobilisation/Demobilisation/Remobilisation wird „roll front“ genannt und führt langfristig zu einer steigenden Konzentration in der Tiefe, der „roll front“, und Tiefenverlagerung der Uranbefunde. Die folgenden Folien verbildlichen diese Vorgänge, die mit chemisch-thermodynamisch basierten reaktiven Stofftransportmodellierungen rechnerisch nachvollzogen werden konnten.

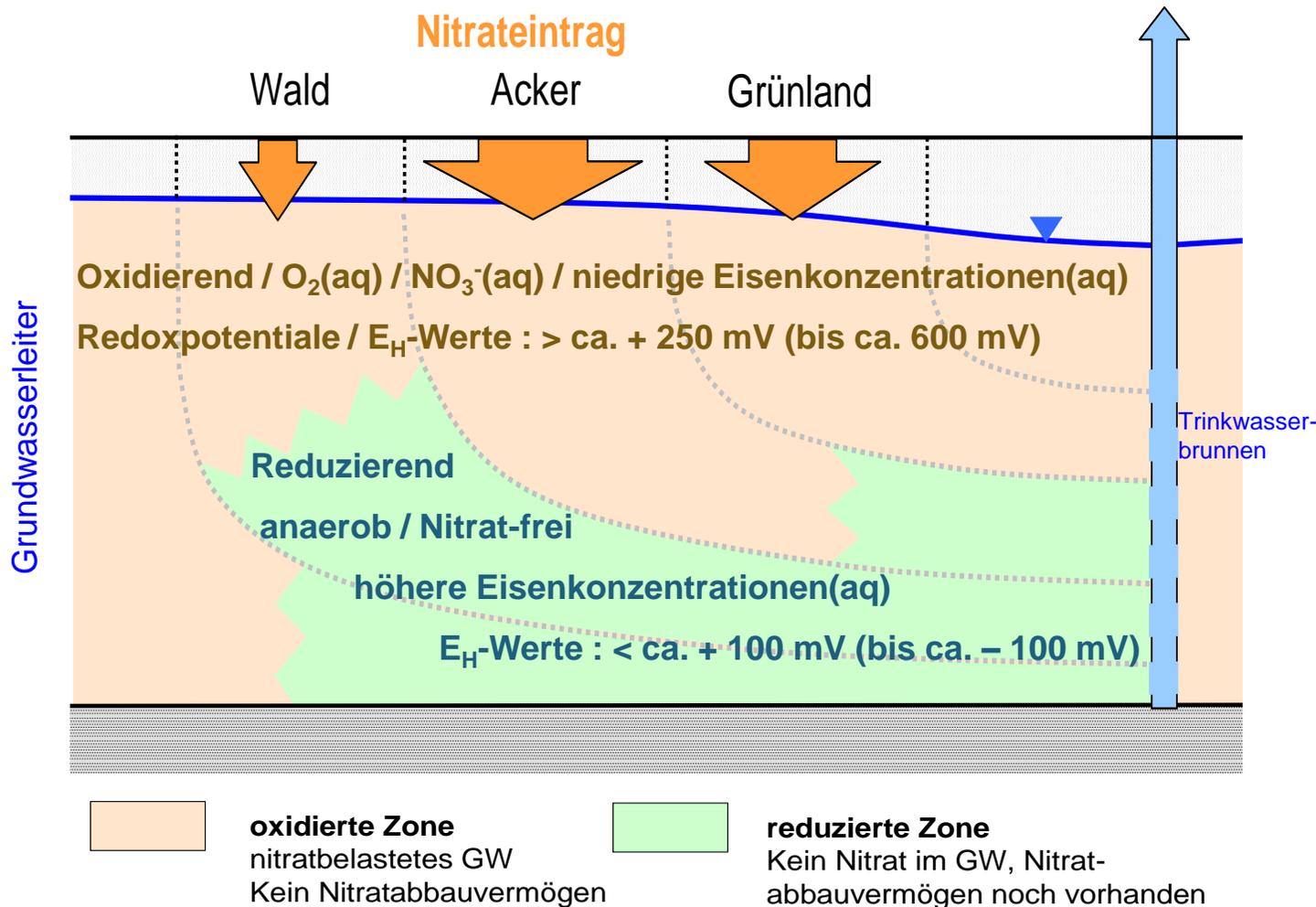
**Hypothese 1:** Tiefenwasser

**Hypothese 2:** Im Grundwasser gelöster Luftsauerstoff löst Uran aus dem Sediment

**Hypothese 3:** Das Uran wird aus dem anstehenden Sediment durch (Luft-) Sauerstoff unter Beteiligung weiterer Oxidantien oder Komplexbildner gelöst - anthropogen induzierter Prozess, indirekter Einfluss der Landwirtschaft.

**Hypothese 4:** direkter Eintrag aus Phosphordünger

## 2.1 Modell: Annahmen und Darstellung



Zur Klärung der Fragen zur Herkunft des Urans im Grundwasser wurde eine Kooperation mit der TU Clausthal (TUC) begonnen. Von der Abteilung Hydrogeologie der TUC wurde ein hydrogeochemisches 3D-Stofftransportmodell entwickelt, mit dem eine erste, vorläufige, rein generische Modellierung der Mobilisation/Demobilisation/ Re-mobilisation von Uran (roll front) vorgenommen werden konnte.

Die Abbildung zeigt die hydrochemische Charakterisierung des Grundwassers unterteilt in oxidierenden und reduzierenden Bereich in Einzugsbereich einer Trinkwasserentnahme.

### Modell-Annahmen:

- Im Sediment existiert ein Stoffdepot mit Uranphasen (ca. 1 mg U/kg Feststoff)
- Das Stoffdepot ist geogen und besteht aus dem Mineral Uraninit ( $\text{UO}_2(\text{s})$ ; U(IV))
- Das geogene Uran ist sicher nicht zu 100% im Grundwasser mobilisierbar (Modellansatz:  $\leq 10 \%$ )

Stand:

2013

## 2.2 Roll-front: Mobilisation → Demobilisation → Remobilisation von Uran aufgrund von Redoxänderungen

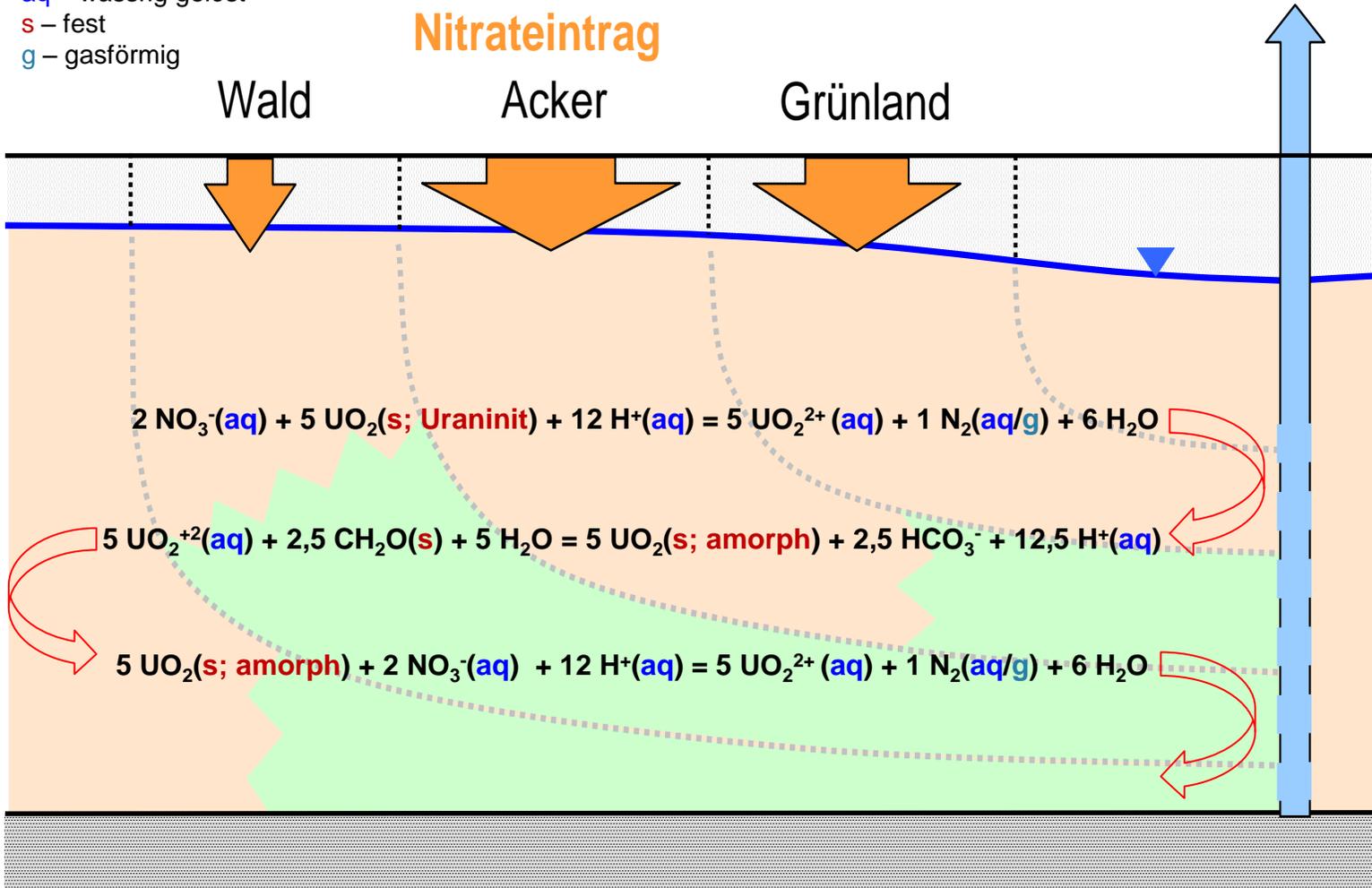
aq – wässrig gelöst  
s – fest  
g – gasförmig

Nitrateintrag

Wald

Acker

Grünland



Im nebenstehenden Bild sind die drei Hauptreaktionen

- der Mobilisation des geogenen Uranminerals  $\text{UO}_2(\text{s}; \text{Uraninit})$  durch oxidatives Lösen,
- der Demobilisation des im Wasser gelösten Urans ( $\text{UO}_2^{2+}(\text{aq})$ ) durch reduktive Fällung als amorphes Urandioxid ( $\text{UO}_2(\text{s}; \text{amorph})$ )
- und die Remobilisation des „frisch“ durch reduktive Fällung gebildeten amorphen Urandioxid (sowie des primären Uraninit) durch erneutes oxidatives Lösen

dargestellt.

Durch die Abfolge dieser Reaktionen kommt es an der Grenzfläche im Abstrom des Grundwassers zu einer Anreicherung von amorphen Urandioxid, das unter erneuten oxidierenden Bedingungen ins Grundwasser gelöst werden kann.

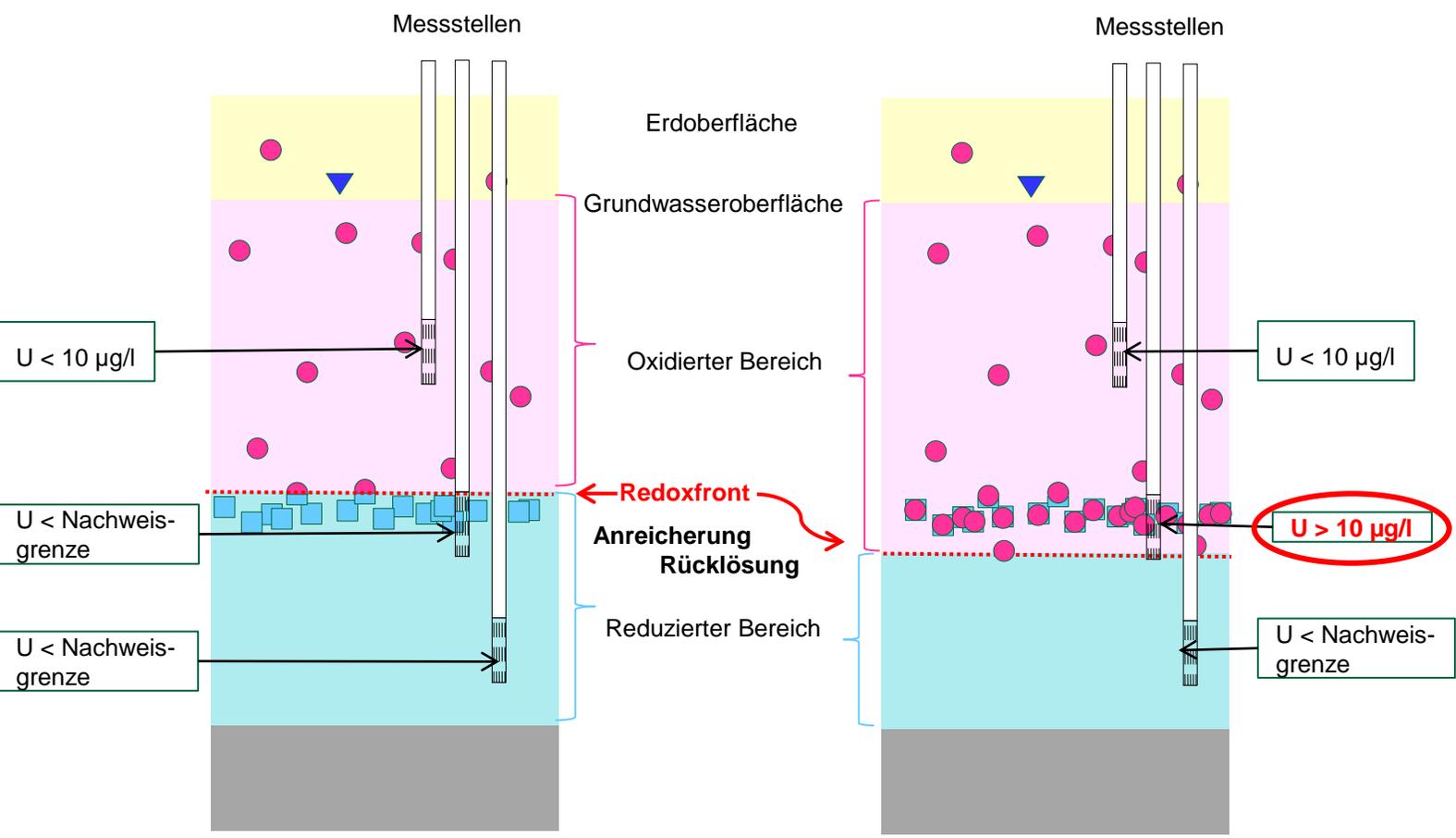
Stand:

2013

# 2.3 Ausfällung und Rücklösung von Uran in Abhängigkeit von Tiefe und Lage der Redoxfront

## Ausfällung

## Rücklösung



Im nebenstehenden Bild sind die beiden letzten Hauptreaktionen nach der Mobilisation des geogenen Uranminerals  $UO_2(s; \text{Uraninit})$

- die Ausfällung (Demobilisation) des im Wasser gelösten Urans ( $UO_2^{2+}(aq)$  ●)
- und die Rücklösung (Remobilisation) des amorphen Urandioxid ( $UO_2(s; \text{amorph})$  □)

mit der Anreicherung von Uran im Grenzbereich der Redoxfront in Bezug zu Uranbefunden in Grundwassermessstellen dargestellt.

# 3. Test der Arbeitshypothese mittels tiefenabhängiger Grundwasserbeprobung

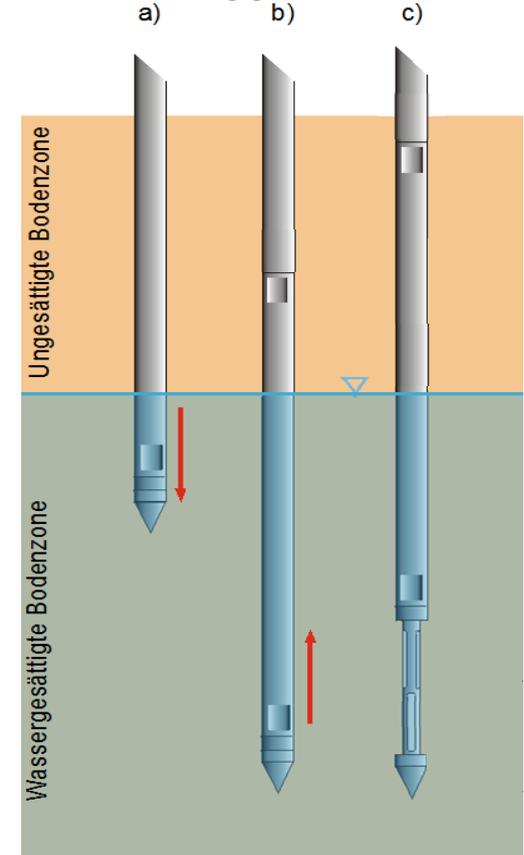
Anfang November 2013 wurden an den Standorten Schwerin Süd und Friedland Grundwassersondierungen durchgeführt. Mit dieser Technik ist es möglich, tiefenbezogene Grundwasserproben zu entnehmen. Beprobte wurde jeder Meter des Grundwasserleiters zwischen der Endteufe (30 m unter Gelände) und der Grundwasseroberfläche.

Analysiert wurden folgende Parameter:

- Säurekapazität, Basekapazität, Hydrogencarbonat
- Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, Fe<sub>gesamt</sub>, Mn, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Ortho-PO<sub>4</sub>, P<sub>gesamt</sub>, DOC
- Al, B, Cd, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Cr, Se, Sb, Mo, Ti, Sn, Ba, Be, U, Tl, V, Co

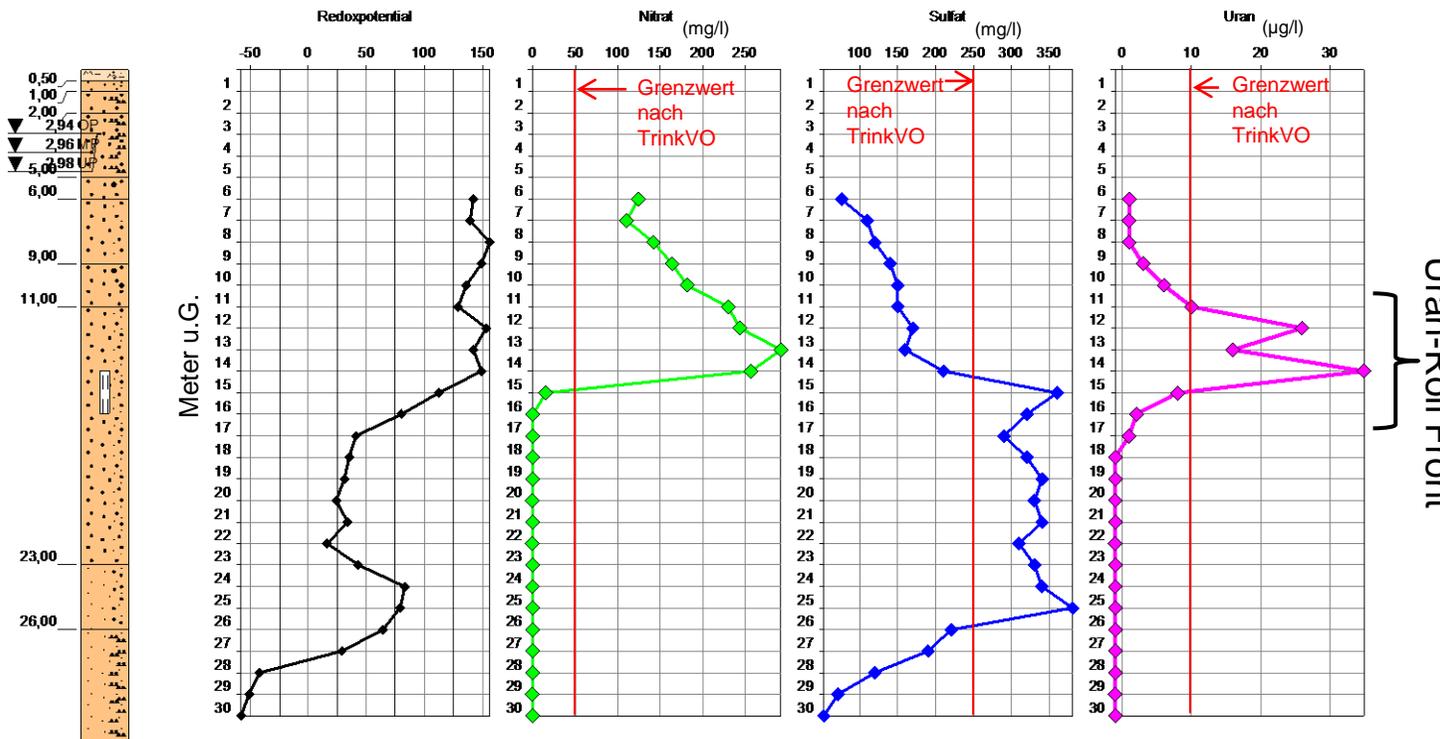


Tiefenabhängige Probenahme



- a) Einbringen der Sonde durch Rammen
- b) Ziehen des äußeren Schutzrohrs
- c) Filteröffnung zur Probenahme

# 3.1 Grundwassersondierung Schwerin Süd

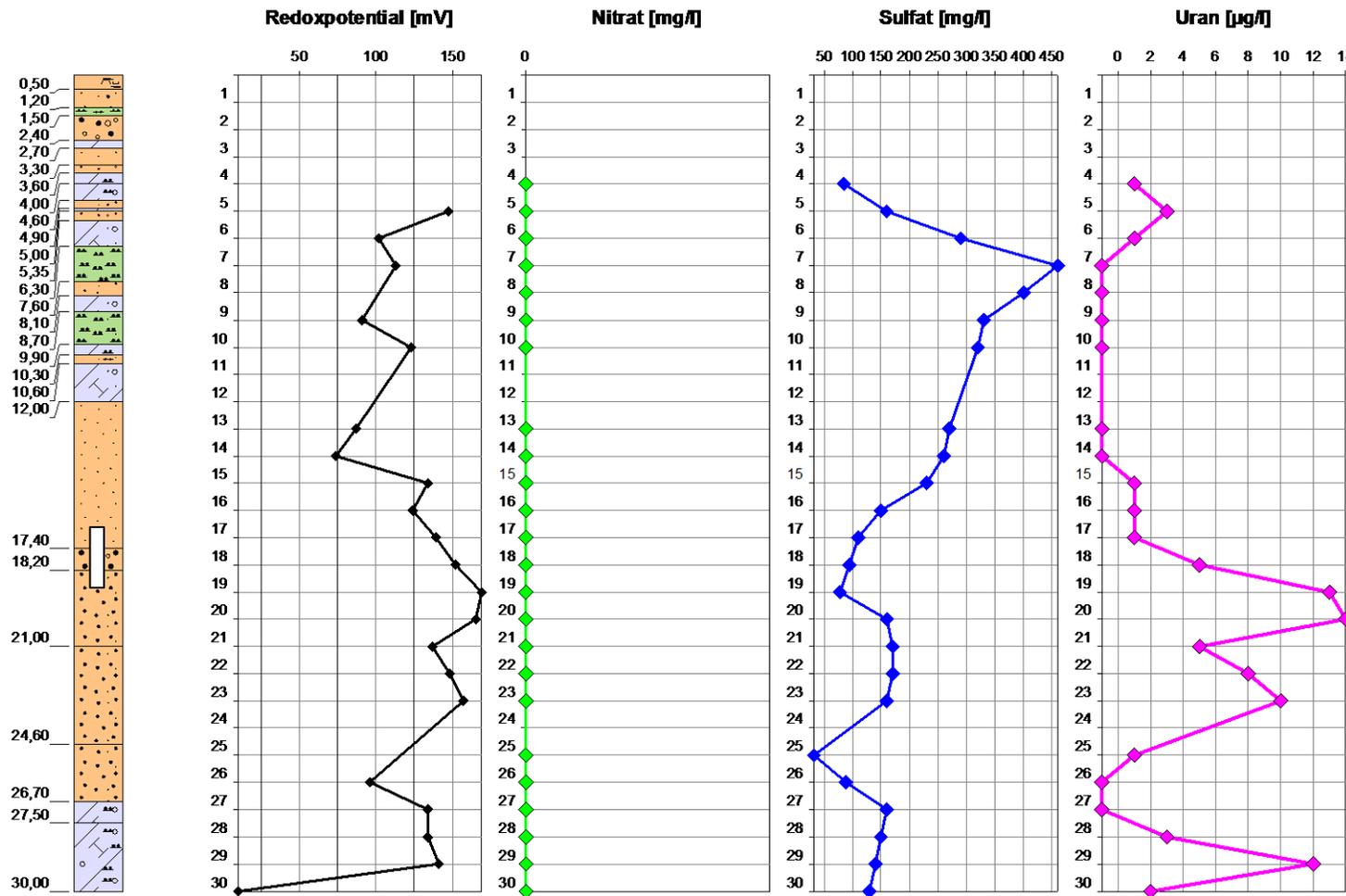


Gemäß des Modells wird geogen vorhandenes mineralisches Uran durch Nitratintrag-initiierte Redoxvorgänge im oxidierten Bereich des Grundwassers mobilisiert, an der Grenzschicht zur reduzierten Grundwasserzone immobilisiert und durch weiteres Vordringen von Nitrat remobilisiert. Die Grenzschicht ist gekennzeichnet durch

- einen Abfall des Redoxpotentials beim Übergang von der oxidierten in die reduzierte Zone,
- ein Absinken der Nitratkonzentration im Grundwasser der reduzierten Zone als Folge der weitgehenden Reduktion,
- ein Ansteigen der Sulfatkonzentration im Grundwasser der reduzierten Zone aus der Nitratreduktion und
- eine Anreicherung löslichen Urans in der oxidierten Zone unmittelbar vor der reduzierten Zone.

Die erhaltenen tiefenabhängigen Messwerte bestätigen das im Modell vorhergesagte Verhalten der Parameter.

# 3.2 Grundwassersondierung Friedland



Anders als in der Grundwasser-sondierung Schwerin-Süd zeigt sich am Standort Friedland ein komplexeres Bild:

- durchgängig nicht nachweisbare Nitratgehalte
- ein starker Anstieg der Sulfatgehalte mit einem ausgeprägten Maximum in 7 m Tiefe
- ein durchgängig hohes Redoxpotential (außer bei der tiefsten Probe)
- bis 15 m Tiefe nur geringe gelöste Urangelhalte und ein ausgeprägtes Maximum in 19-21 m Tiefe, das an die „Roll-Front“ erinnert.

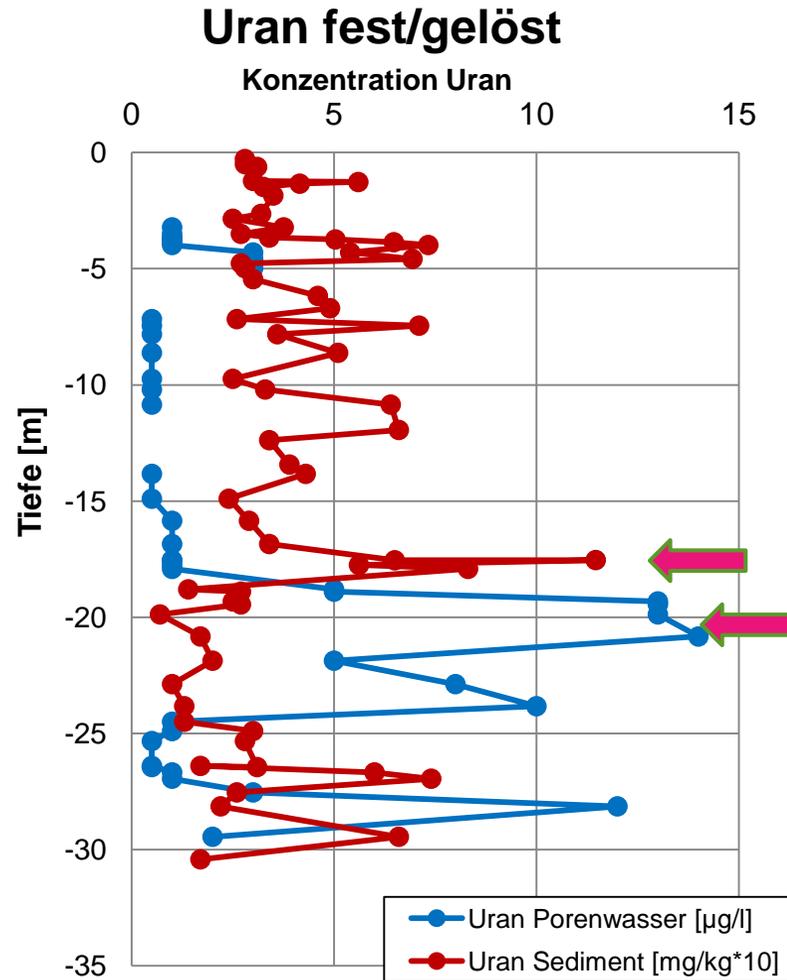
Diese tiefenabhängigen Messwerte fügen sich nicht ohne weitere Betrachtungen in das Bild der „Roll-Front“. Die Ursache liegt vermutlich in der komplexen aber typischen Geologie mit mehrfachen Substratwechslern. Hierdurch wird vereinfacht gesagt ein vertikales Fließen des Grundwassers behindert, so dass ein nicht unerheblicher Anteil des Wassers auch horizontal eingetragen wird.

# 3.3 Zusammenhang zwischen Grundwasser-sondierung und Bohrkernanalytik Friedland

Zur weiteren Interpretation der Ergebnisse wurde ein Vergleich der tiefenabhängigen Konzentrationen im Porenwasser (Folie 28) und im Sediment (Folie 13) vorgenommen:

Bis ca. 17 m Tiefe liegen sowohl im Porenwasser als auch im Feststoff nur geringe Urangehalte vor. Darunter steigen die Urangehalte im Feststoff (rote Linie) in einer schmalen Schicht bei 17 - 18 m an.

Direkt unterhalb dieser erhöhten Urangehalte sind auch im Porenwasser (blaue Linie) bei 19 - 21 m die höchsten Urangehalte gefunden worden.



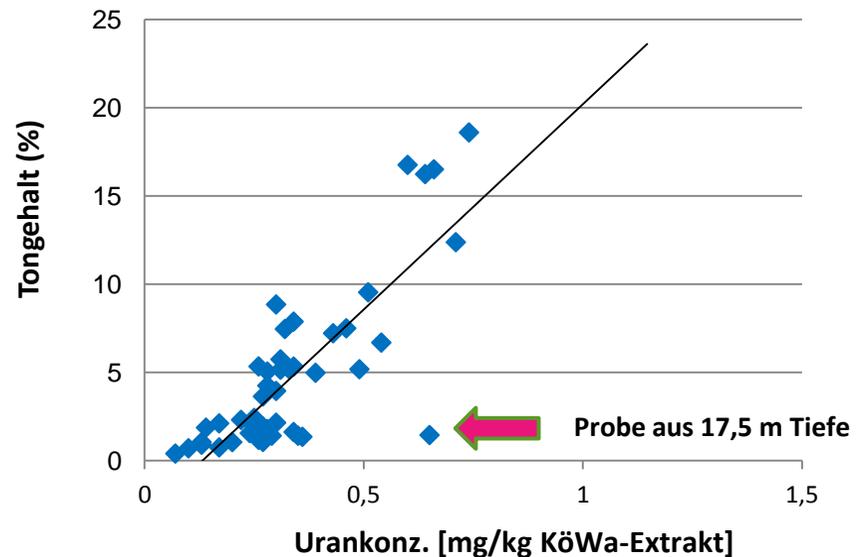
# 3.3 Zusammenhang zwischen Grundwasser-sondierung und Bohrkernanalytik Friedland

Generell korrelieren die Urangehalte im Sediment mit den Gehalten der Tonfraktion (vgl. Folie 12).

Da sich die **erhöhten** Urangehalte im Feststoff bei 17-18 m jedoch **in Sanden befinden**, haben sie in dieser Tiefe keinen Bezug zum Tongehalt.

Wegen der Lage der Erhöhungen in sandigen Sedimenten, die geringe geogene Gehalte besitzen, liegt auch hier ein Indiz für eine Anreicherung durch Verlagerung vor und damit ein weiteres Indiz für die Hypothese der Roll-Front oder auch Redoxfront (Folien 22 - 25).

### Korrelation Uran mit Ton (bis 30 m Tiefe)



# 4. Aktuelle und geplante Arbeiten des LUNG

In dem vorliegenden Dokument werden in komprimierter Form die aktuell vorliegenden Ergebnisse der Uran-AG des Landes Mecklenburg-Vorpommern dargestellt. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass geogenes Uran durch oxidative Prozesse gelöst wird. Hierbei handelt es sich um die Prozesse, die auch zum nachlassenden Nitratabbauvermögen in den Grundwasserleitern führen<sup>1</sup>. Zur Untermauerung dieser These sind weitere Betrachtungen erforderlich.

Das System Boden/Grundwasser ist ein sehr komplexes System, in dem noch nicht alle Prozesse, die zu den in einigen Grundwässern auftretenden Uranbefunden führen, bekannt und erklärbar sind.

<sup>1</sup> DVGW Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Projekt W1/06/08

- **Weiterführung der Monitoringprogramme**  
Gewässeruntersuchungen (Grund- und Trinkwasser, Fließgewässer und Seesedimente, Boden)
- **Vertiefung der Feststoffanalytik**  
An Bohrkernen belasteter Standorte sollen zunächst die durch Fällungsreaktionen entstandenen Anreicherungen gefunden werden (Verifizierung der Hypothese). Dann sollen mit speziellen Verfahren (Mikroanalytik, Tonmineralogie, spez. Extraktionen) die Eigenschaften, Vorräte und Dynamik erfasst werden (→ Kooperation mit Forschungspartnern).
- **Weitere Grundwassersondierungen**  
Im Rahmen des Messstellenneubaus werden in 2014 drei weitere Grundwassersondierungen durch das Land durchgeführt. Weitere Sondierungen werden möglicherweise durch die Wasserversorger im Zuge der Standortplanung für neue Brunnen realisiert.

# 4. Aktuelle und geplante Arbeiten des LUNG

Bis zur Ableitung möglicher Vorgehensweisen, um bei der Planung neuer Trinkwasserbrunnen erhöhte Uranbelastungen zu vermeiden, sind noch viele zusätzliche Informationen notwendig.

Bisher noch weitgehend ungeklärt sind Mechanismen, die zu den beobachteten Urangelhalten in Fließgewässern und Drainageausläufen führen. Hier kann bisher ausschließlich eine phänomenologische Beschreibung erfolgen.

Ebenfalls ungeklärt ist die Verlagerungsgeschwindigkeit der Roll-Front in die Tiefe.

Nicht vollständig aufgeklärt ist auch der mögliche Zusammenhang zwischen den Uranbefunden und der Verbreitung jungpleistozäner (weichselzeitlicher) Ablagerungen.

## ■ Untersuchung von Referenzflächen

Es sollen Flächen bzw. Standorte auf Uran-Gehalte untersucht werden, die in den letzten Jahrzehnten keiner Nutzung und somit keiner Düngung ausgesetzt waren.

## ■ Vergleich von P-düngungsfreien und maximal P-gedüngten Flächen (Bodenproben)

Auf den Versuchsflächen der LFA wurden Bodenproben der oberen Schichten auf landwirtschaftlich genutzten Parzellen entnommen, diese werden chemisch analysiert und bewertet.

## ■ Kooperationen mit Forschungspartnern

Eine tiefere wissenschaftliche Untersuchung einzelner Sachverhalte kann nur in Kooperation mit wissenschaftlich forschenden Einrichtungen erfolgen. So werden derzeit Themen in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Clausthal und der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald auch im Rahmen von Abschlussarbeiten bearbeitet.