



# Zeitreihenanalyse der Ergebnisse von Radon-Konzentrationsmessungen in Häusern

K. Geringswald, W. Löbner, Ch. Schramm  
Wismut GmbH, Chemnitz

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Zeitreihenanalyse der Ergebnisse von Radon-Konzentrationsmessungen in Häusern,  
7. Sächsischer Radontag, Dresden, 24. September 2013

2

## 1. Einleitung und Problemstellung



- › Von verschiedenen Autoren aus dem In- und Ausland wurden in letzten Jahren Ergebnisse umfangreicher Radonmessungen in Häusern vorgestellt !
- › Für betroffenen Bevölkerung häufig ein Vergleich der „Messwerte“ in Wohnräumen mit einem Referenzwert.
- › Bei *zeitaufgelösten* Radonmessungen mittels Radonmonitor wird häufig mittlere Radonkonzentration im Messzeitraum bzw. für ein komplettes Jahr ermittelt und bewertet.
- › Zeitreihen dienen meistens nur zur Visualisierung der beobachteten Änderungen !
- › BfS oder BfUL in Ortschaften mit bergbaulichen Hinterlassenschaften in Kellern von Häusern „mehrjährige Zeitreihen“ mit Kernspurdetektoren (Integrationszeit 1 Monat bzw. 3 Monate)

**WHO-Handbuch (2009) → einheitliche Anleitung ???**

## 2. Design von zeitaufgelösten Radonmessungen in Kellern

### 2.1 Spezielle Zielstellungen

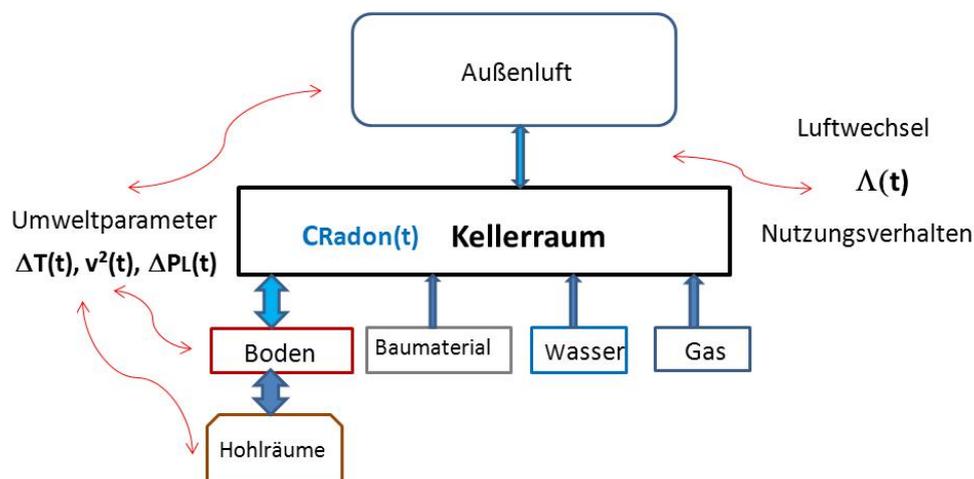
- In Häusern mit Einfluss von bergbaulichen Hinterlassenschaften sollte die Änderung der Rn-Konzentration durch relevante Umweltparameter von den zeitlichen Änderungen durch Sanierungsarbeiten bzw. vom Einfluss der bergbaulichen Hinterlassenschaften (Hohlräume, Gebirgsstörungen, Aufschüttungen) unterschieden werden können.
- **Zeitreihen von (mindestens) einem Jahr:** tageszeitlichen Veränderungen, jahreszeitlichen Veränderungen, Veränderungen durch Gebäudenutzung
- **Zeitreihen von mehreren Jahren:** Begleitung von Sanierungsarbeiten, die die Rn-Situation in Häusern beeinflussen können (Langzeit-Monitoring)
- **Zeitreihen von mehreren Tagen oder Wochen:** Begleitung technischer Versuche (z.B. Grubenbewetterung ; Flutung; Kostenoptimierung)

Keine Bewertung der Strahlenexposition der Hausbewohner !

- Deshalb machen zeitaufgelöste Rn-Messungen in Kellern Sinn. -



### 2.2 Einflussgrößen auf die Zeitreihen der Rn-Konzentration



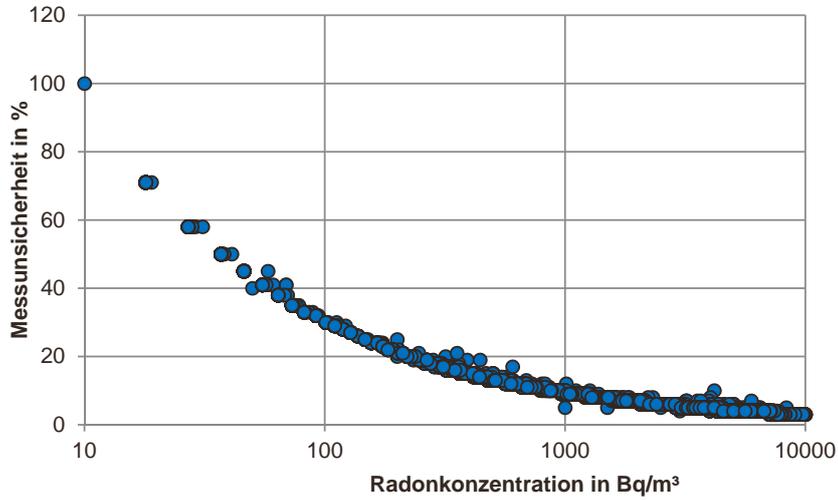
#### Optimale Abtastrate ?

1. Beachtung des Nyquist-Shannon-Abtasttheorems (Signal mit einer Frequenz von mindestens  $2 \cdot f_{\max}$  abtasten)



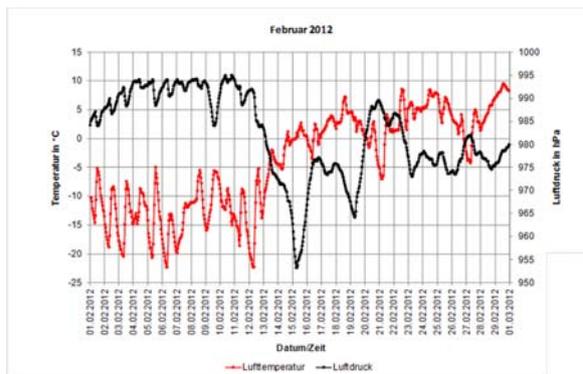
## 2. Beachtung der Messunsicherheit des verwendeten Rn-Monitors

Für Integrationszeit  $\Delta t = 1$  h:



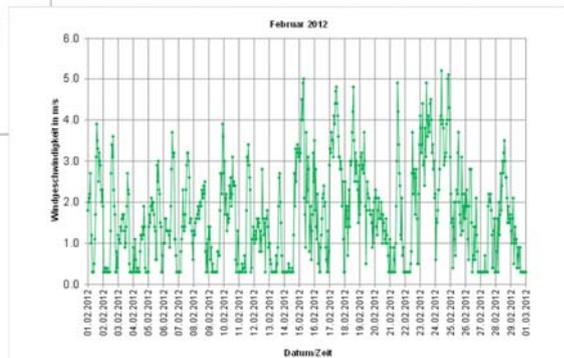
## 2.3 Zeitabhängigkeit wesentlicher meteorologischer Parameter

Lufttemperatur, Luftdruck



für  $\Delta t = 1$  h:

Windgeschwindigkeit



als Beispiel: Februar 2012

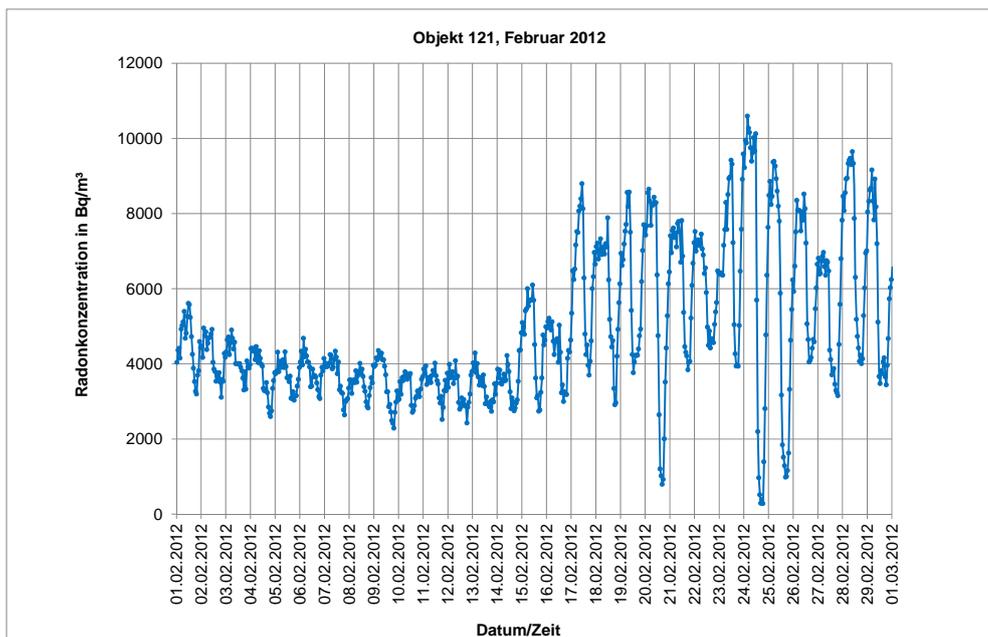
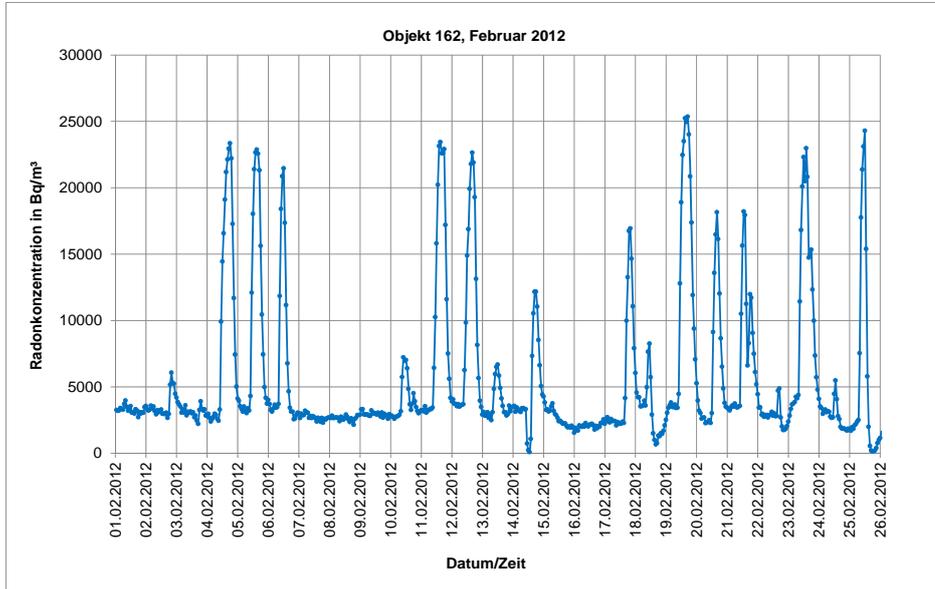


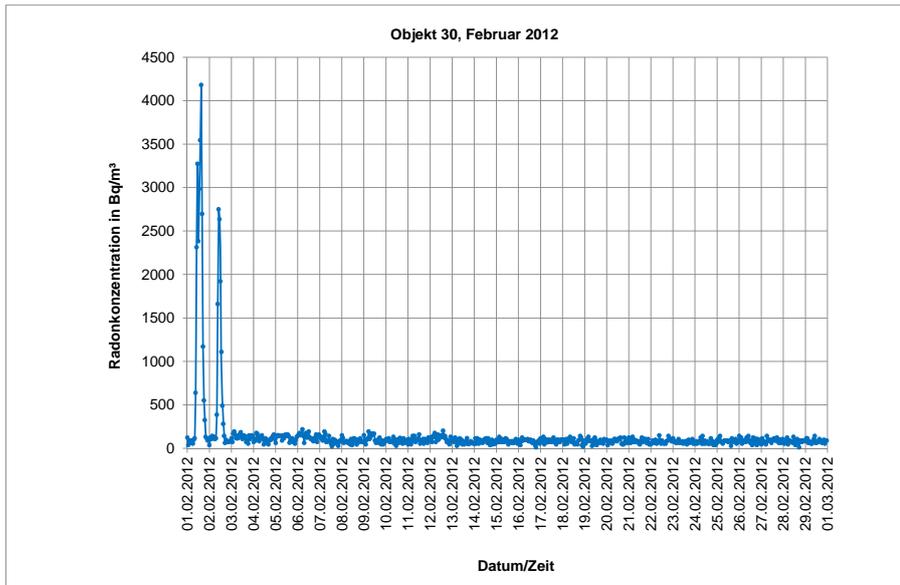
## 2.4 Beispiele für Zeitreihen der Radonkonzentration

Beachte die Variabilität in den 3 Beispielen!

696 Messwerte

(jeweils Februar 2012 – gleiche Umweltbedingungen)





**Schlussfolgerung:** Die Rn-Situation lässt sich nicht allein mit einem mittleren Konzentrationswert charakterisieren !



### 3. Statistische Analyse von Zeitreihen

Im Allgemeinen setzen sich Zeitreihen von verschiedenen Messgrößen  $X(t)$  aus drei Komponenten zusammen:

$$X(t) = m(t) + s(t) + e(t) \quad (1)$$

$m(t)$  die Trendkomponente,

$s(t)$  die saisonale Komponente,

$e(t)$  die Rauschkomponente (noise).

Mit statistischen Analysen der Zeitreihen werden folgende Ziele verfolgt:

- Datenkompression bzw. Datenaggregation,
- Transformation und Visualisierung,
- Trendermittlung,
- Analyse des saisonalen Einflusses,
- Beschreibung des Zusammenhanges zu anderen Variablen (z. B. Umweltpar.),
- Signalverarbeitung in Anwesenheit von Messunsicherheiten.

Mathematische Verfahren sind in der Literatur hinreichend beschrieben.



### 3.1 Datenkompression - Deskriptive Statistik

geeignete aggregierende statistische Parameter ausgewählt:

Anzahl der Messwerte	Arithmetischer Mittelwert	Varianzkoeff. CV	Oberes Konfidenzniveau UCL	25 % Quartil	50 % Quartil (Median)	75 % Quartil

Software: MathCAD 15.0, ProUCL, EXCEL

Vergleich von 8 Häusern: (Zeitreihe 25.06.2012 – 10.07.2012)

Variable	Anzahl	Mittelwert	CV	UCL	25%ile(Q1)	Median	75%ile(Q3)
Objekt		in Bq/m <sup>3</sup>		in Bq/m <sup>3</sup>	in Bq/m <sup>3</sup>	in Bq/m <sup>3</sup>	in Bq/m <sup>3</sup>
GS1	357,0	310,3	0,658	357	176,0	280,0	392,0
GS8	357,0	648,0	0,473	738	491,0	615,0	747,0
GS12	357,0	2613	0,433	2874	1842	2466	3138
HW2	357,0	788,6	0,514	882	482,0	728,0	1052
HW3	357,0	613,8	0,937	746	251,0	469,0	729,0
HW5	357,0	8742	0,417	9583	6268	8700	11004
HW7	357,0	306,8	0,907	371	110,0	188,0	450,0
HW9	357,0	978,2	0,973	1198	387,0	765,0	1205



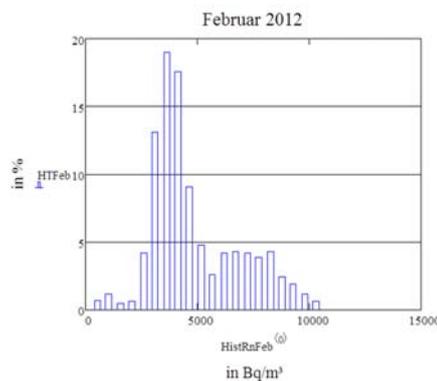
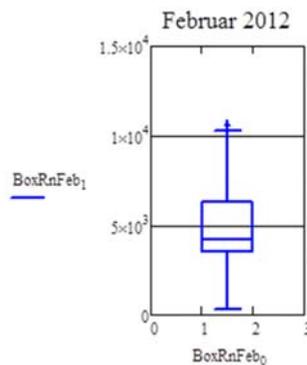
### 3.2 Datenaggregation und Visualisierung



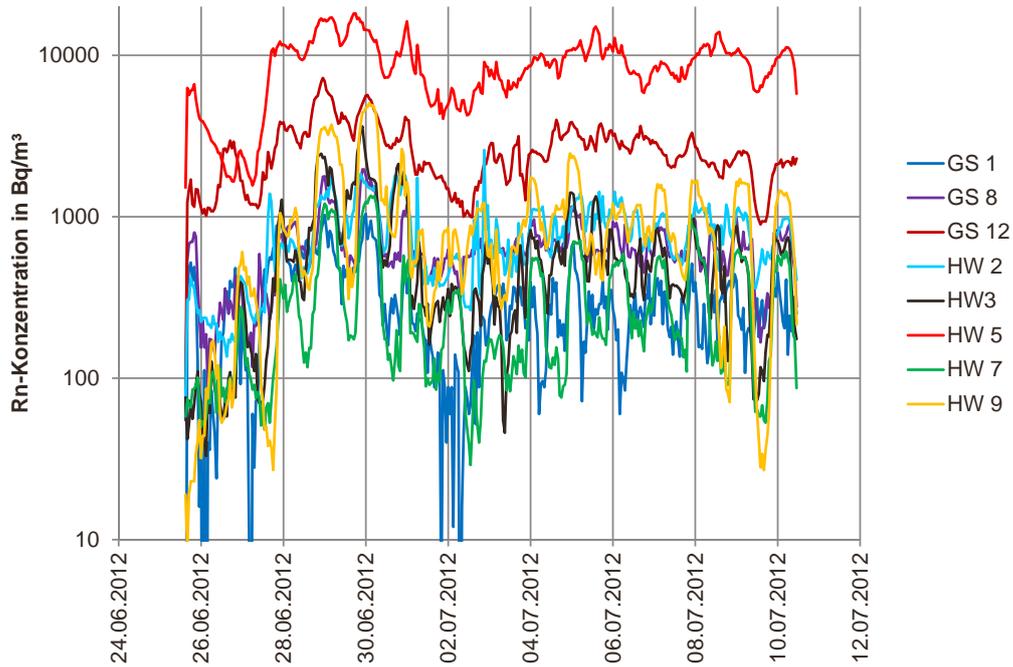
+



Box-Whisker-Plot und Histogramm einer Zeitreihe



### logarithmische Darstellung von Rn-Zeitreihen

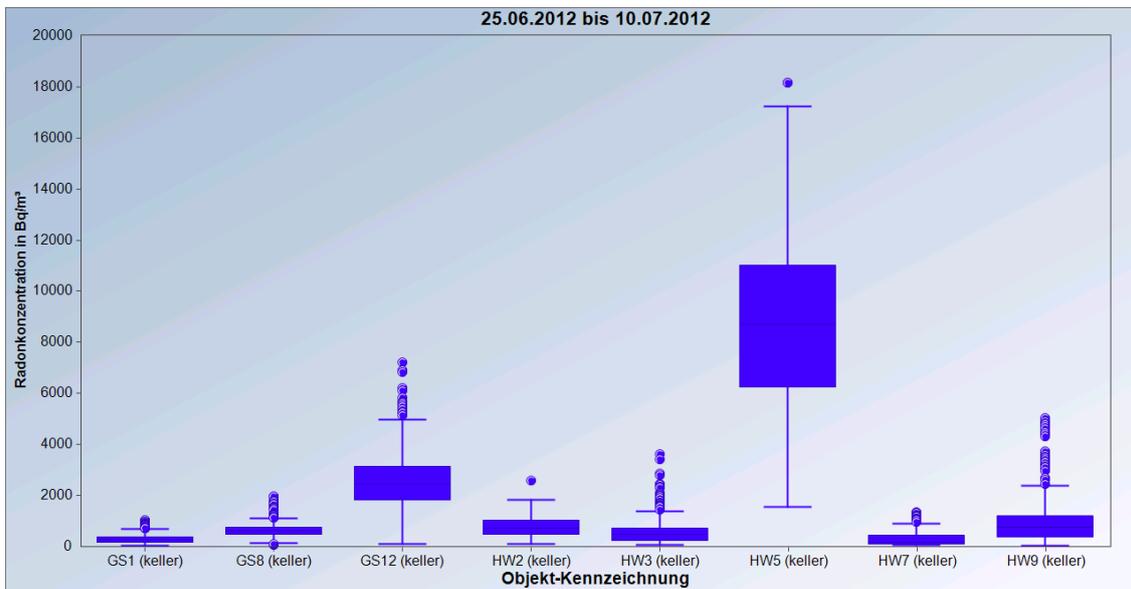


ist zum Objektvergleich unübersichtlich



Vergleich von Objekten unter gleichen Umweltbedingungen:

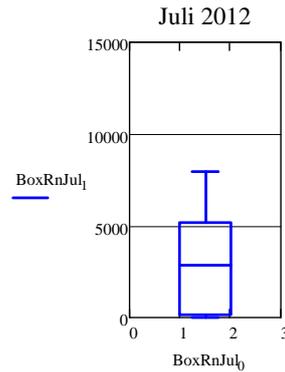
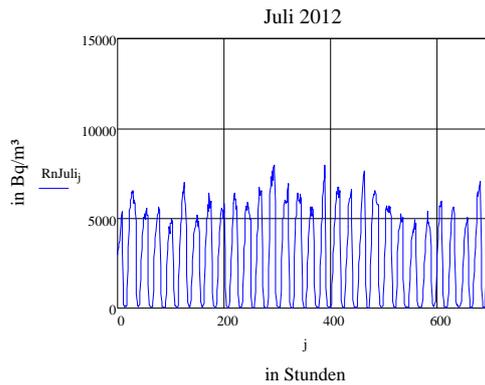
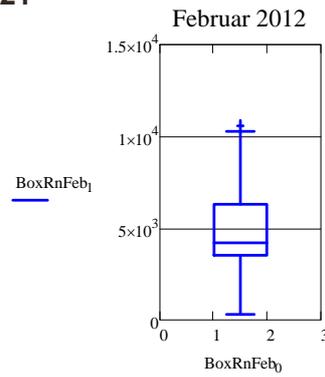
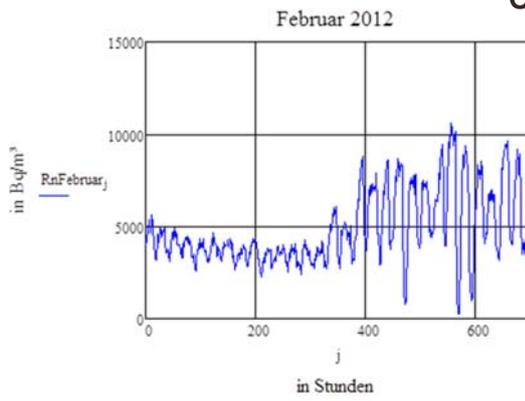
### Box-Whisker-Plot



gut zu kommunizieren !



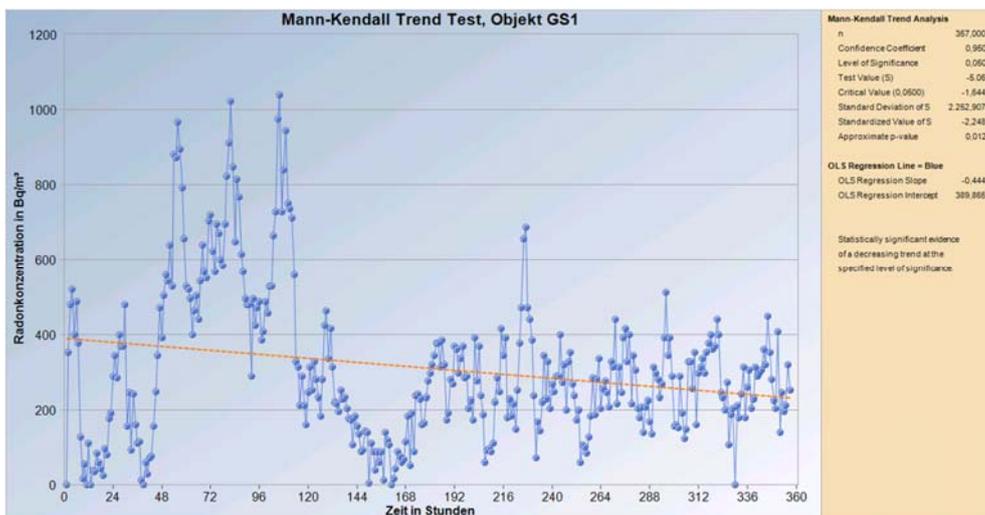
### Objekt 121



### 3.3 Trendanalyse

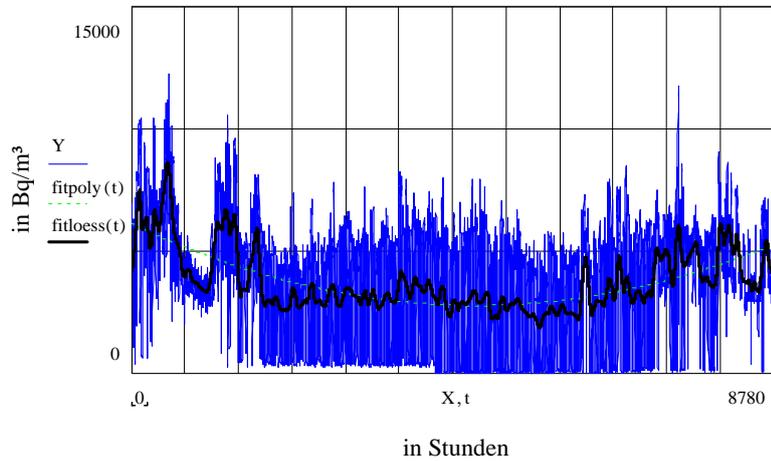
Zwei Strategien :

- Filtern der Zeitreihen mit dem LOESS-Smoother-Verfahren oder die Window-Glättung mittels Fouriertransformation [7,8],
- Trendtests mit statistischen Regressionsmethoden (Mann-Kendall-Trend-Test) [5, 9]

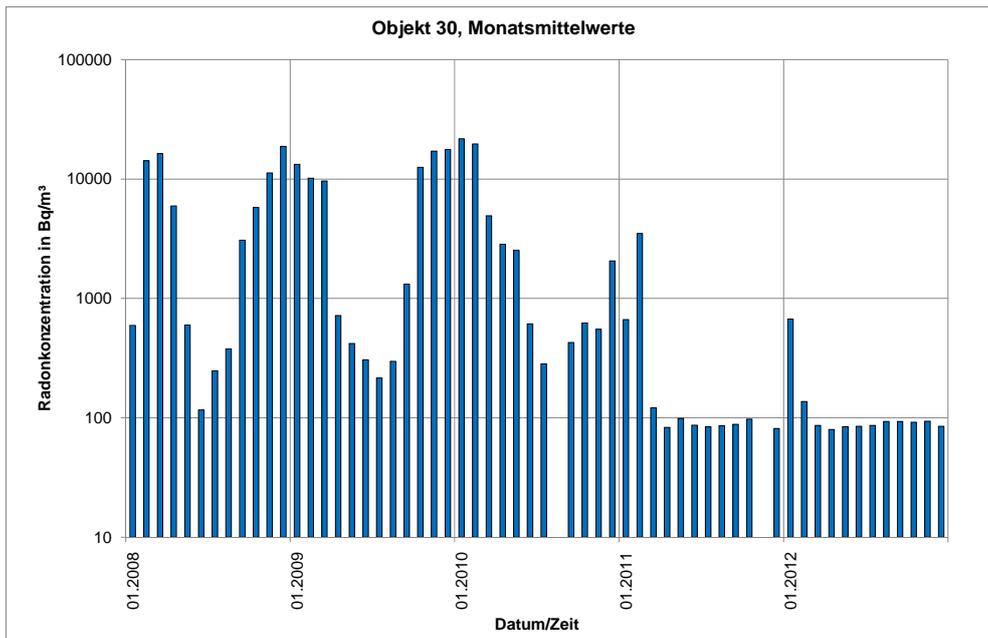


### Objekt 121

Jahr 2012, loess-Glättung



Trend der Monatsmittelwerte einer mehrjährigen Zeitreihe:

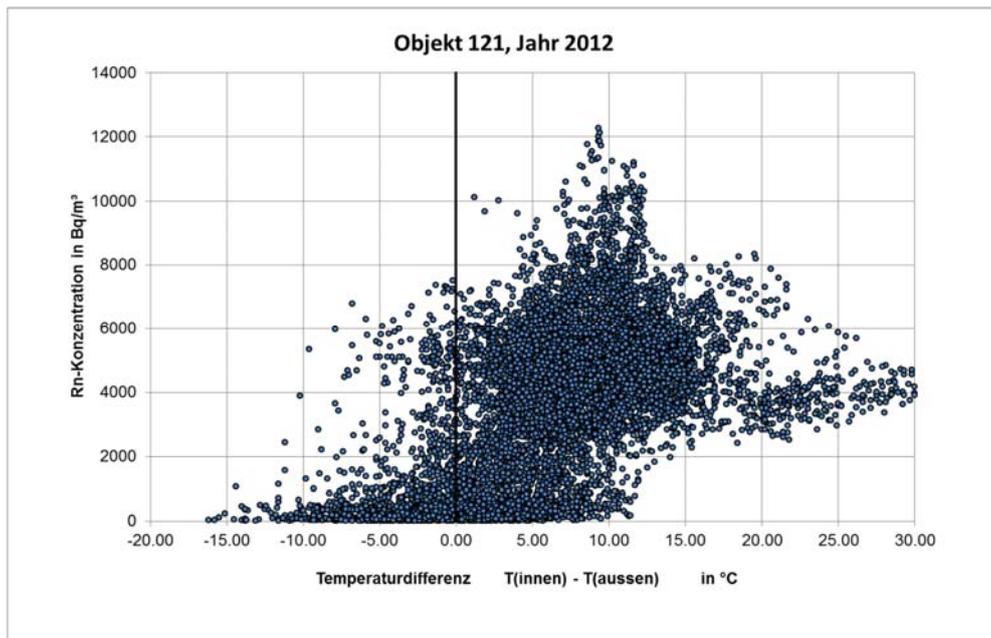
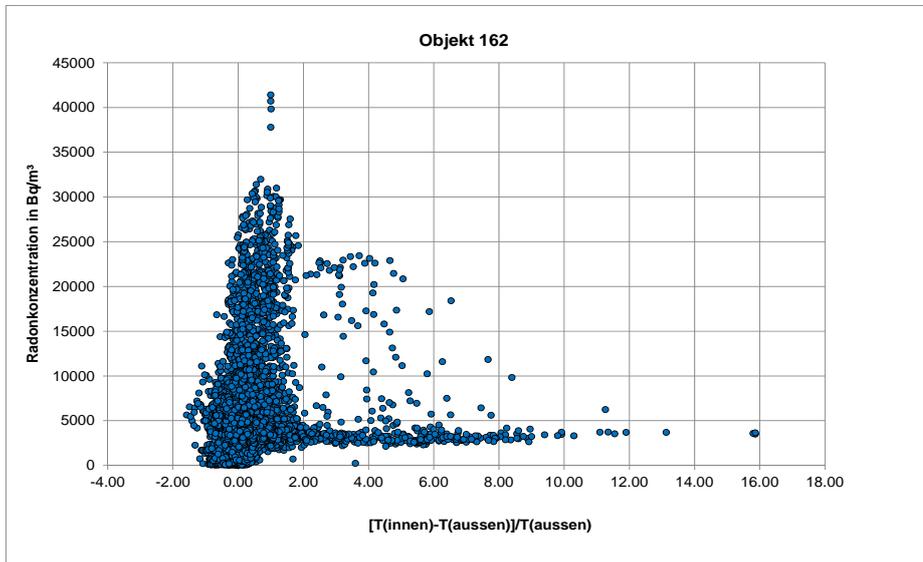


Ab März 2011 wird die Radonsituation in diesem Objekt durch eine lokale Bewetterungslösung stabil beherrscht !



### 3.4 Identifikation wesentlicher Abhängigkeiten

Auftriebsdruck infolge Temperaturdifferenzen



### 3.5 Redundanzanalyse

Frage, ob die Zeitintervalle der Messungen ohne Informationsverlust vergrößert werden können.

Hierzu wurden zwei Verfahren eingesetzt:

- Iterative thinning und
- Variogrammanalyse [14].

Die temporäre Redundanzanalyse ergab, dass ein Zeitintervall von etwa 1 h ohne Informationsverlust nicht wesentlich vergrößert werden kann.



## 4. Standardisierung einer Zeitreihenanalyse

**Kopfzeile:** gewählter Beobachtungszeitraum, Messzeitintervall, Anzahl der Messungen, Messgerätetyp, Messunsicherheit des Messgerätes,

**Bereich I:** Tabelle mit den statistischen Kennzahlen der deskriptiven Statistik der Zeitreihe der Radonkonzentration und der dazugehörigen Umweltparameter, optional Konfidenzbereiche

**Bereich II:** Diagramm der Zeitreihe der Radonkonzentration und Box-Whisker-Plot (optional Histogramm); optional Zoombereiche der Zeitreihe

**Bereich III:** Ergebnisse der Trendanalyse, Diagramm gefilterter Daten unter Angabe des Verfahrens

**Bereich IV:** Korrelations-Diagramm zur Identifikation der wesentlichen Parameterabhängigkeit

**Bewertungszeile:** Aussage hinsichtlich der Erfüllung des Untersuchungszieles



## 5. Schlussfolgerungen und Ausblick

- ✓ Aufgrund einer hohen Variabilität der Rn-Messwerte und der Abhängigkeiten von zeitlich veränderlichen Umweltparametern bzw. der Gebäudenutzung ist die statistische Analyse für eine fundierte Situationsbewertung erforderlich.
- ✓ Zur Aggregation und Visualisierung der Zeitreihen können verfügbare Standardverfahren der Zeitreihenanalyse unter Nutzung von vorhandenen Computerprogrammen verwendet werden.
- ✓ Die statistische Trendanalyse unter Nutzung etablierter Verfahren erlangt in Verbindung mit sanierungsbegleitenden Messungen zunehmend an Bedeutung. (Mann-Kendall-Verfahren)
- ✓ Mit der Zeitreihenanalyse von Radonmessungen kann besonders in Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial infolge bergbaulicher Hinterlassenschaften ein Beitrag zur Verbesserung der Kommunikation der Radonsituation in Häusern zwischen den Behörden, den Radonspezialisten und den Hauseigentümern geleistet werden.
- ✓ Die Zeitreihenanalyse ist ein Werkzeug zur Unterstützung der Ursachenaufklärung.
- ✓ Es erscheint weiterhin erforderlich, moderne Verfahren der Zeitreihenanalyse (Kalman-Filterung, Wavelet-Analyse, Fourier-Analyse, u. a.) auf ihre Eignung zur Analyse von Zeitreihen der Radonkonzentration zu prüfen.