



Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie  
und Konstruktiven Wasserbau

Universität für Bodenkultur Wien

## **816.300 Hydrologie und Wasserwirtschaftliche Planung VU 3SWS (4,5 ECTS)**

**Lehrveranstaltungsleiter:** H.P. Nachtnebel

J. Fürst

H. Holzmann

- 1. Übungseinheit: Zeitreihenanalyse (22. 5. 2013)**
- 2. Übungseinheit: Dynamische Programmierung**

# Behandlung von Zeitreihen

## Definition:

Eine Zeitreihe ist ein Satz von Beobachtungen einer variablen Größe (z.B. Abfluß, Temperatur oder Niederschlag) zu verschiedenen Zeitpunkten. Es wird der Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variablen Zeit  $t$  und der abhängigen, hydrologischen Variablen  $X(t)$  dargestellt. Enthält  $X$  eine zufallsbedingte Komponente, so beschreibt die Zeitreihe einen stochastischen Prozeß.

## Meteorologie:

Niederschlag, Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung u. -geschwindigkeit, Strahlung, Sonnenscheindauer, ...

## Hydrologie:

Abfluss u. Abflusshöhe, Grundwasserstand; Schneeakkumulation, Infiltration, ...

## Wasserwirtschaft:

Güteparameter (Sauerstoff, BSB, CSB, Ionenkonzentration); Entnahmemengen; Bedarf (Trinkwasser, Energie), ...

## Weitere:

Verkehrsströme und -frequenzen, wirtschaftliche Nachfrage- und Bedarfsreihen, ökonomische Wertkriterien (BIP, Aktienkurse), Umweltparameter (Ozon, Stickoxyde, Pollen), Demographie (Bevölkerungsentwicklung, Einkommen, Gesundheit), ...

# Anwendungsmöglichkeiten der Zeitreihenanalyse

## Prognose:

Abschätzung zukünftiger kurz- und langfristiger Entwicklungen (Trendanalyse).

## Simulation:

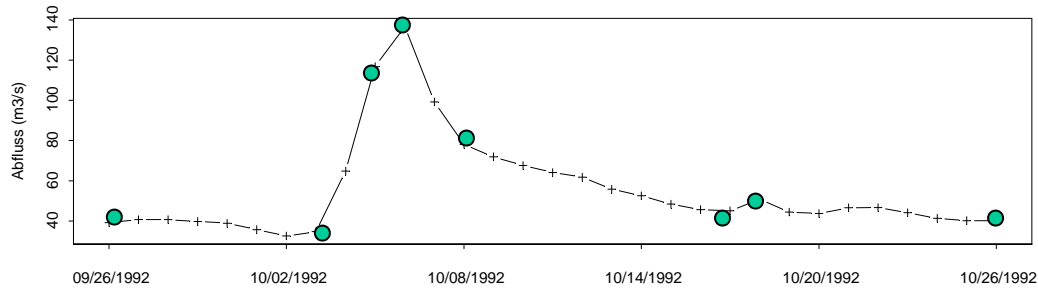
Erzeugung synthetischer Zeitreihen zur Schließung von Messlücken oder Verlängerung kurzer Zeitreihen zur Festlegung von Bemessungskriterien.

## Systemanalyse:

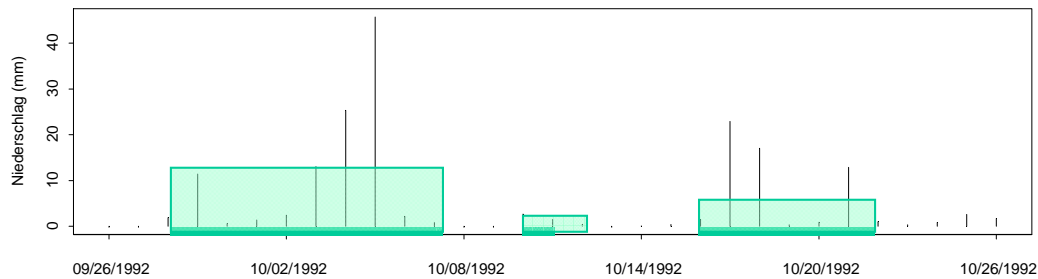
Extremwert- und Varianzanalyse geben Aufschluss über Häufigkeit und Größe von Extremereignissen.

# Arten der Zeitreihen

Abfluss Isel (Osttirol)



Niederschlag (Osttirol)



## Diskrete Zeitreihen

- Abflüsse
- Wasserstände (automatisch)
- Temperatur

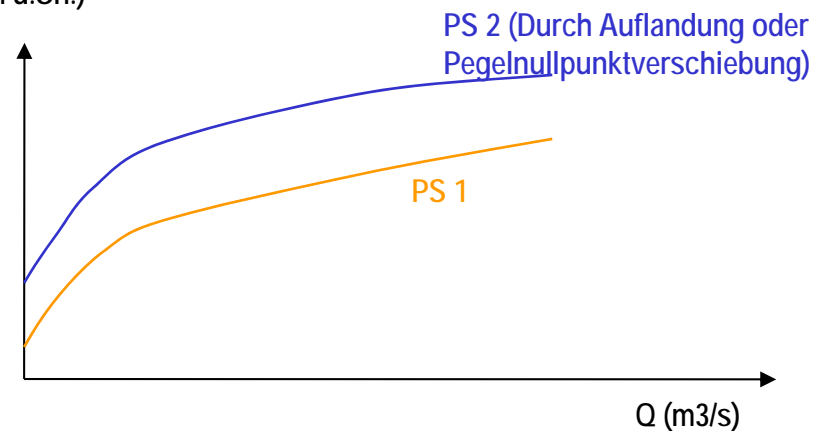
## Kontinuierliche Zeitreihen

## Nichtdiskrete Zeitreihen

- Niederschlagsereignisse
- Wasserstand (manuell)
- Sample (Schwebstoff, Qualität)
- Punktprozesse

Bei der Analyse ist auf  
Homogenität der Zeitreihe  
Bedacht zu nehmen !!!  
Beispiel Pegelschlüssel.

H (m ü.Sh.)



# Allgemeines zur Zeitreihenanalyse

## Definition:

Eine Zeitreihe ist ein Satz von Beobachtungen einer variablen Größe (z.B. Abfluß, Temperatur oder Niederschlag) zu verschiedenen Zeitpunkten. Es wird der Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variablen Zeit  $t$  und der abhängigen, hydrologischen Variablen  $X(t)$  dargestellt. Enthält  $X$  eine zufallsbedingte Komponente, so beschreibt die Zeitreihe einen stochastischen Prozeß.

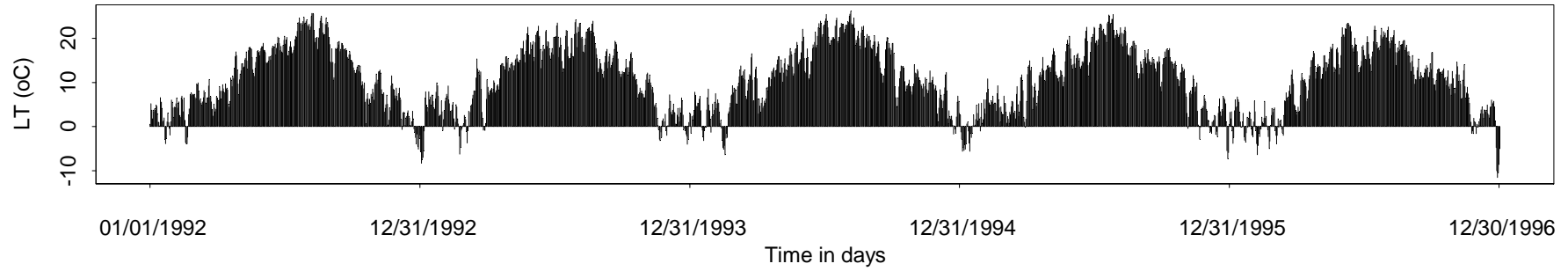
## Analyse:

Bei der Analyse einer Zeitreihe geht man zumeist von der Annahme aus, daß alle Komponenten des hydrologischen Prozesses additiv zusammenwirken:

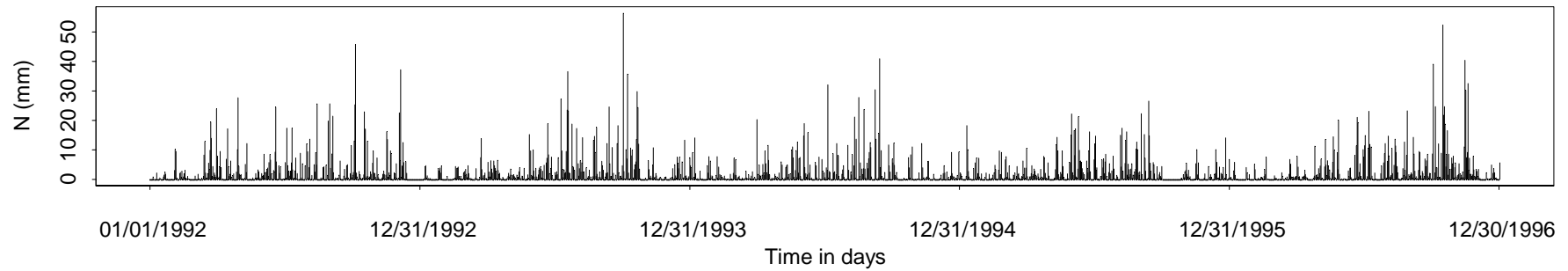
$$X(t) = X_T(t) + X_p(t) [+ X_R(t)]$$

Dabei bedeutet  $X_T(t)$  ... Trendanteil,  $X_p(t)$  ... periodischer Anteil und  $X_R(t)$  ... Zufallsanteil (Random).

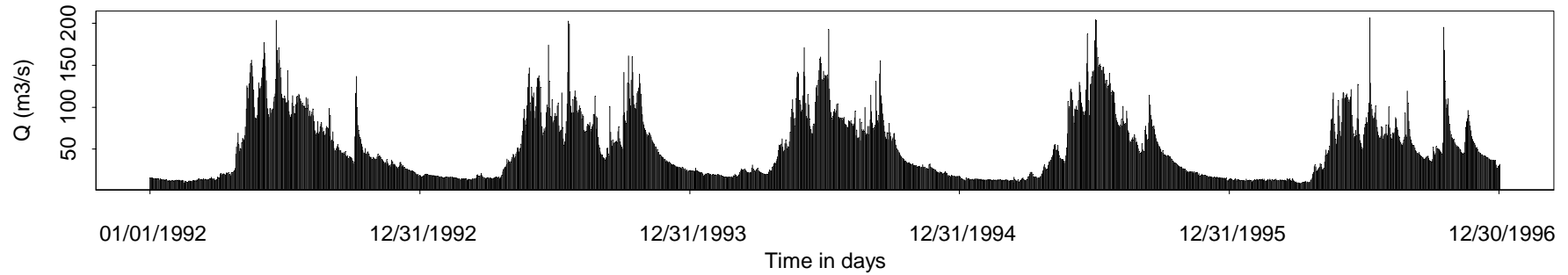
### Lufttemperatur



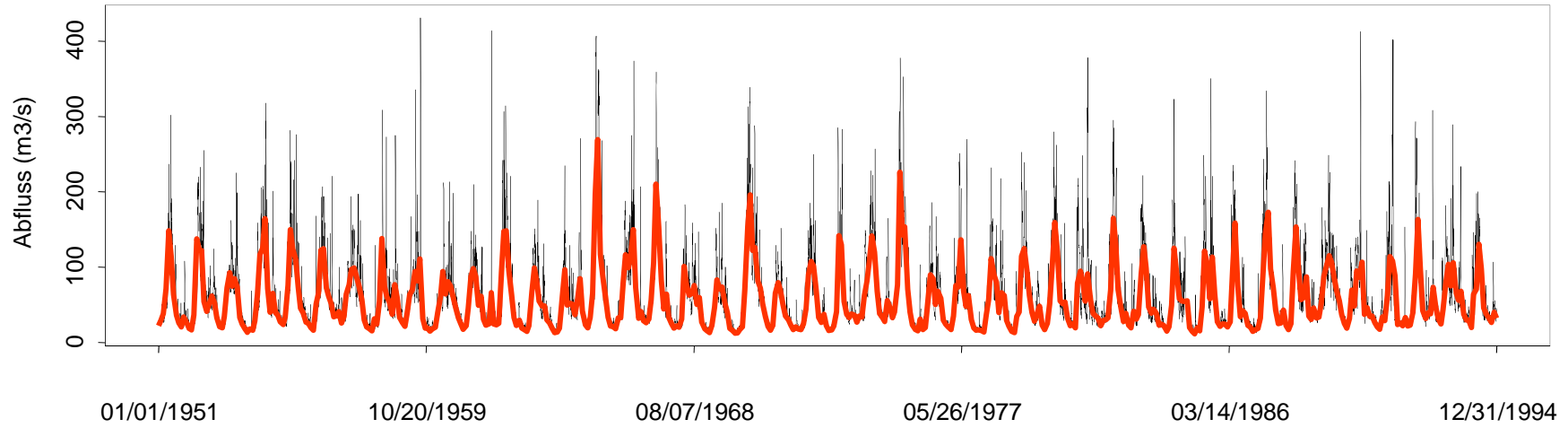
### Niederschlag



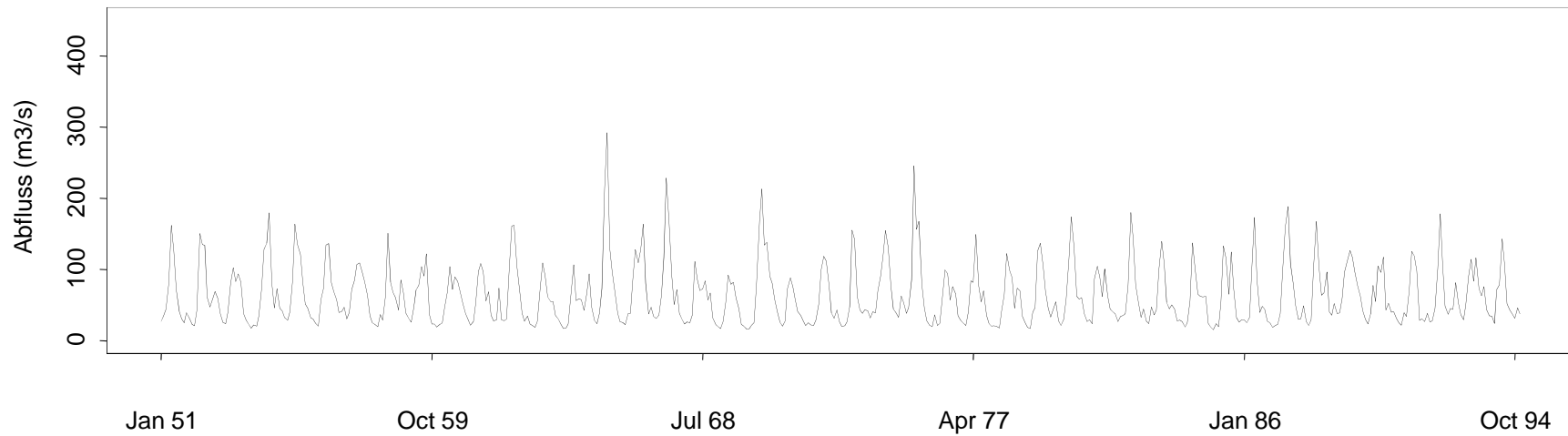
### Abfluss



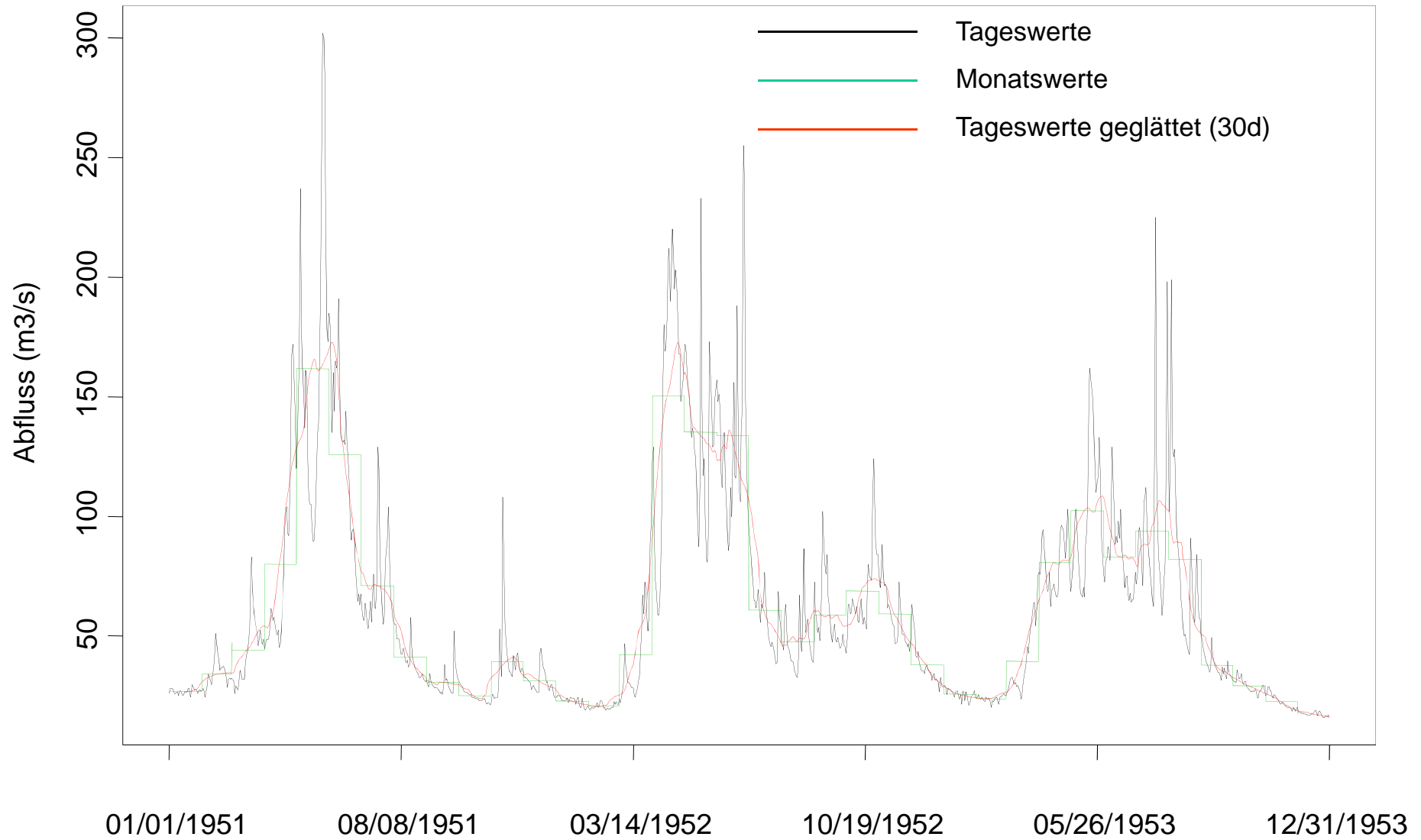
Enns 1951 - 1994 Tageswerte



Enns 1951 - 1994 Monatswerte



# Enns 1951-1994 Tageswerte





# Regression und Korrelation

Die **Regression** beschreibt den (linearen) Zusammenhang zwischen zwei Variablen.

$$Y = a + b \cdot X + \varepsilon$$

Wobei  $X$  ... Unabhängige Variable und  $Y$  ... Abhängige Variable

Die Koeffizienten berechnen sich wie folgt:

$$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X}$$

$$b = \frac{\sum [(X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})]}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

Die **Korrelation  $r$**  beschreibt den Grad des statistischen Zusammenhangs und berechnet sich wie folgt:

$$r = \frac{\sum [(X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \cdot \sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

Für  $|r|$  gilt: 0 ... kein Zusammenhang

0.5 ... Schwacher Zusammenhang

0.75 ... deutlicher Zusammenhang

0.95 ... straffer Zusammenhang

1.00 ... gesetzmäßiger Zusammenhang

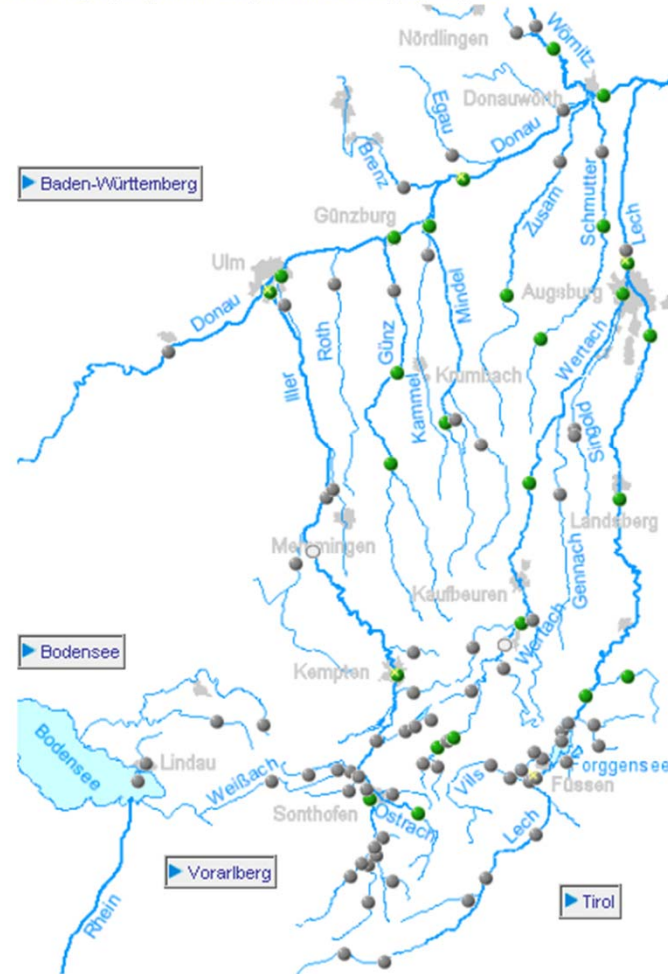
# Regressionsanalyse: Vergleich Donau - Lech

## Verwendung:

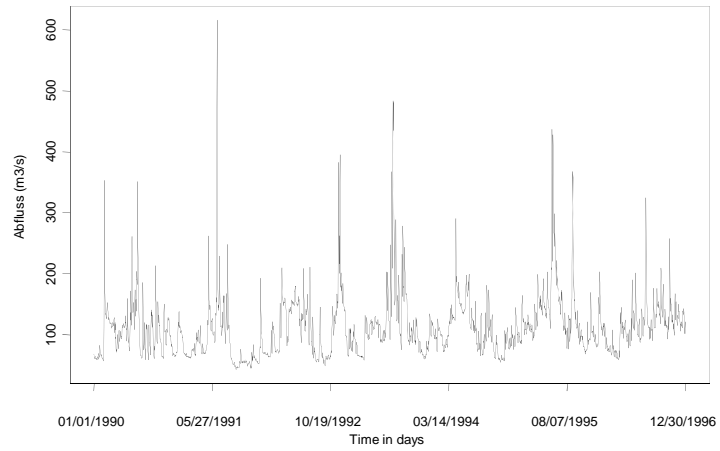
- Schliessen von Datenlücken
- Prognose

### HOCHWASSERNACHRICHTENDIENST

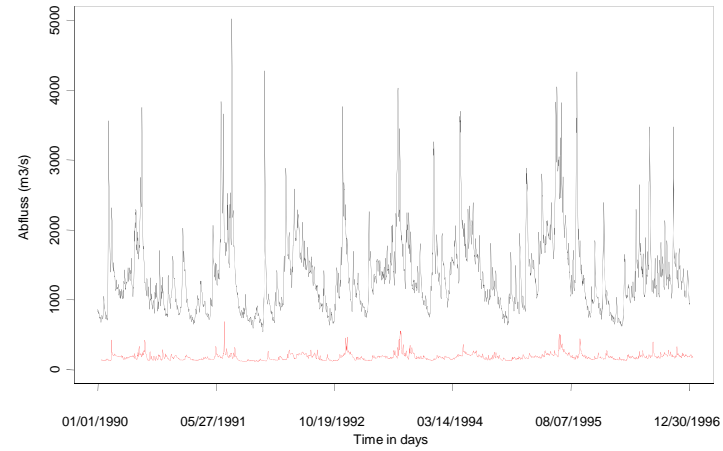
Naab - Regen | Inn | oberer Main | Main bis Grenze | Regnitz | Elbe



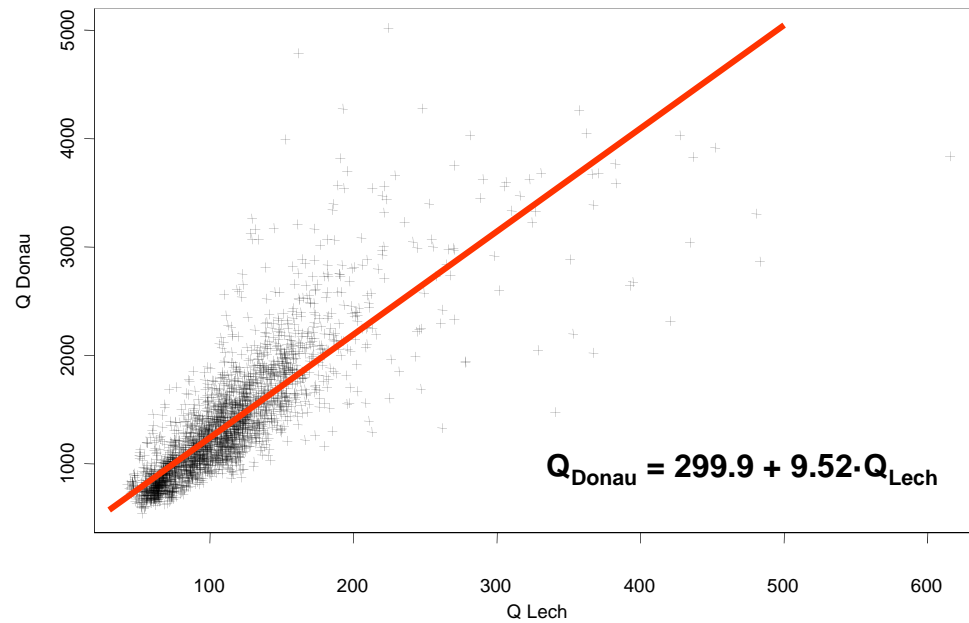
Abfluss Lech (Augsburg)



Abfluss Donau (Jochenstein)



Regressionsanalyse

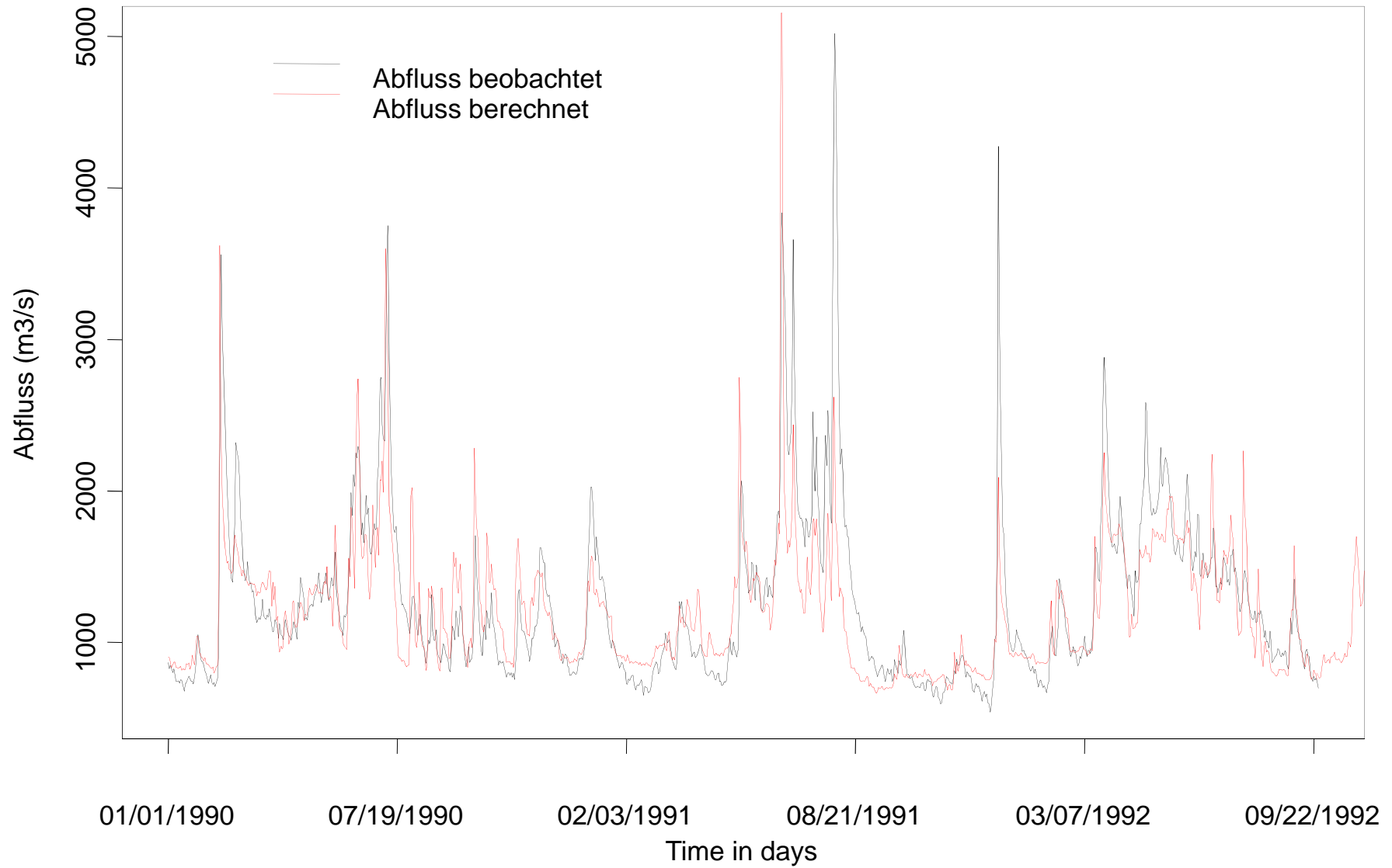


## Regressionsanalyse

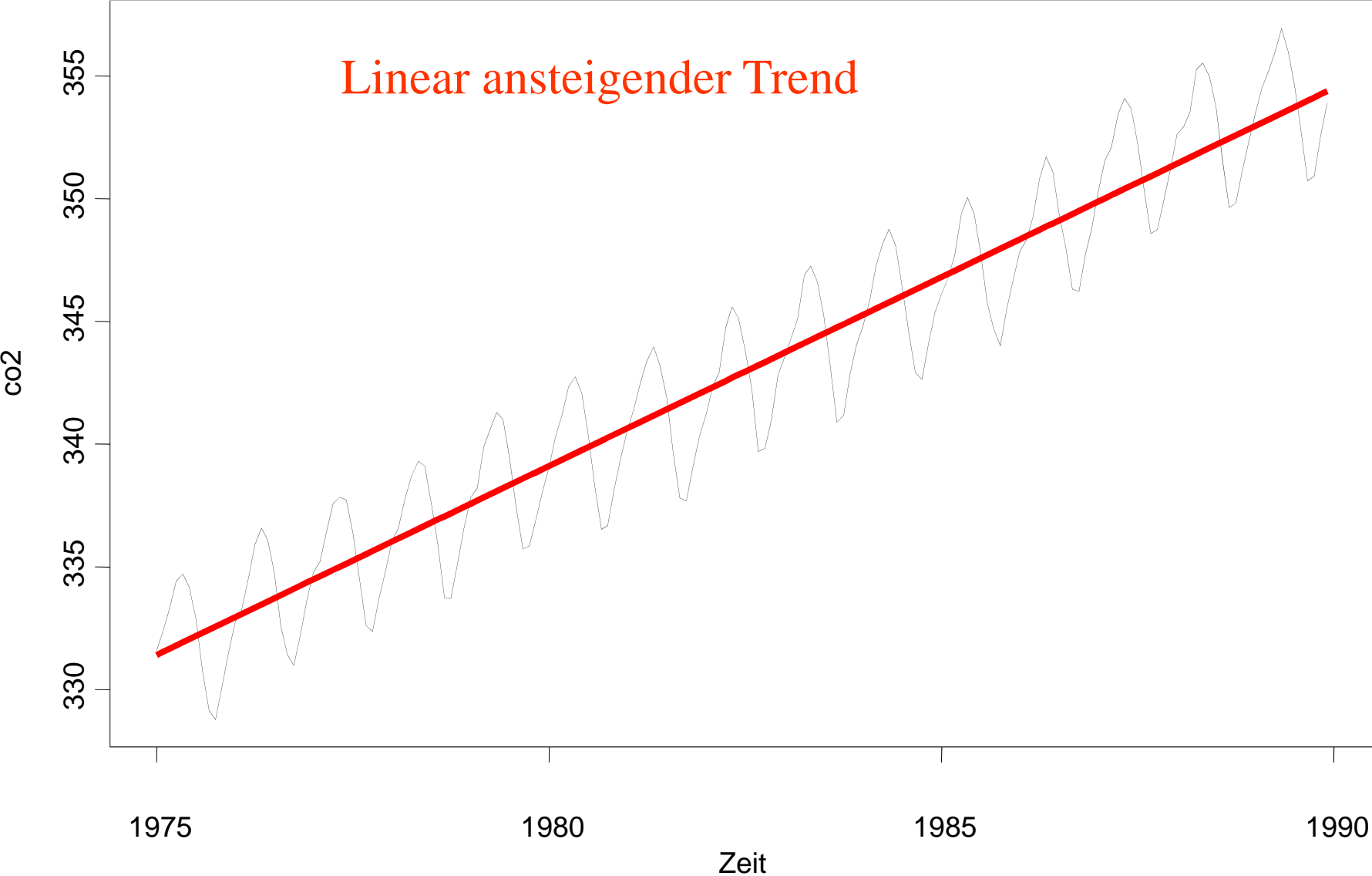
### Verwendung:

- Schliessen von Datenlücken
- Prognose

# Abfluss Donau (Jochenstein)



# Mauna Loa Carbon Dioxide Concentration



# Trendanalyse

Hydrologische Variable können langfristige zeitliche Änderungen erfahren, die mit Hilfe der Trendanalyse identifiziert werden.

Beispiele dafür sind:

- Abflussänderung durch geänderte meteorologische Randbedingungen.
- Abflussänderung durch geänderte Landnutzung im Einzugsgebiet
- Wasserstandsänderung durch Sohlerosion oder Sedimentablagerung.
- Änderung der Jahresniederschlagssumme durch Klimaänderung

Zeitliche Änderungen zeigen sich wie folgt:

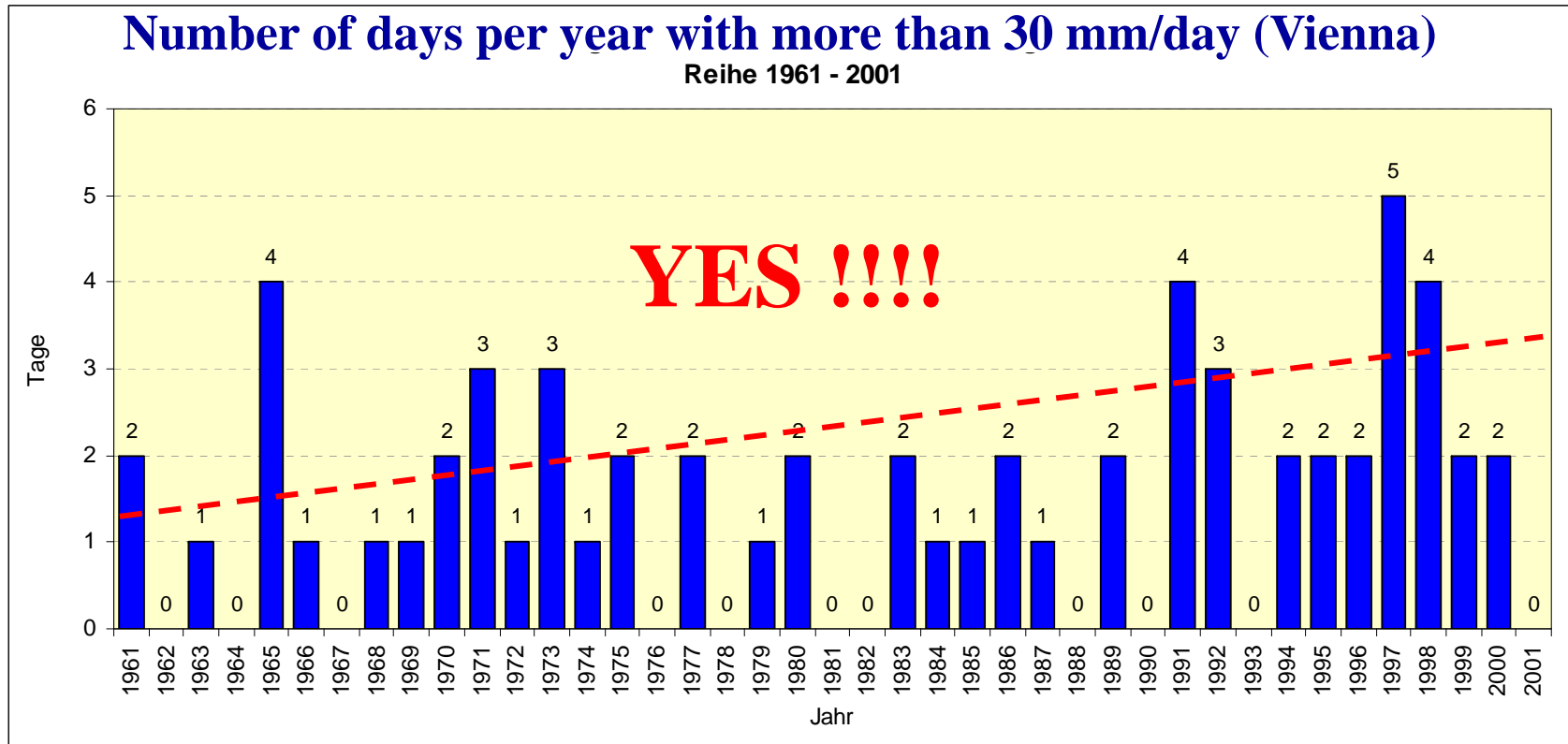
- Stationärer Trend.
- Ansteigender Trend
- Absteigender Trend.
- Sprunghafter Trend

Neben dem *linearen Trend* existieren auch *nichtlineare Trends*

Bei der Analyse kurzer Zeitreihen kann die Sequenz aus einer Periode als Trend fehlinterpretiert werden!!!



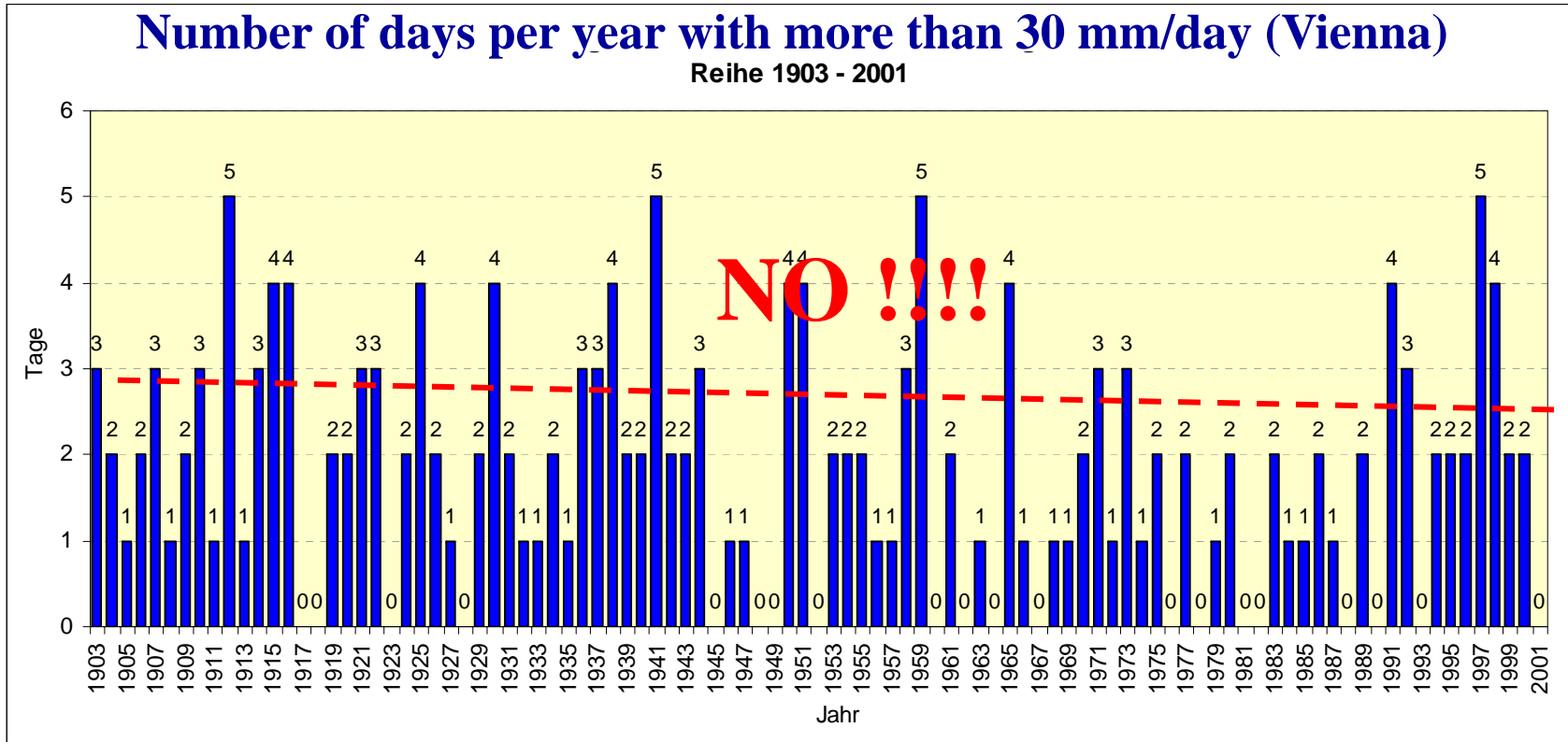
# Do Heavy Rainfall Events Become more Frequent ?



(Rudel, ZAMG 2002)



# Do Heavy Rainfall Events Become more Frequent ?



(Rudel, ZAMG 2002)



# Trendermittlung

Der Trend wird in Form einer Trendgeraden dargestellt:

$$X_T(t) = a + b \cdot t \quad (3.1b)$$

dabei wird b als Trend- oder Regressionskoeffizient und a als Achsenabschnitt bezeichnet.

**Methode der kleinsten Quadrate:**

$$a = \frac{\sum t^2 \cdot \sum X(t) - \sum t \cdot \sum t \cdot X(t)}{n \cdot \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (3.2.)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum t \cdot X(t) - \sum t \cdot \sum X(t)}{n \cdot \sum t^2 - (\sum t)^2} \quad (3.3.)$$

$$\sum \dots \sum_{t=1}^n$$

**Hilfsformeln:**

$$\sum_{t=1}^n t = \frac{n \cdot (n+1)}{2} \quad (3.4)$$

$$\sum_{t=1}^n t^2 = \frac{n}{6} \cdot (n+1) \cdot (2n+1) \quad (3.5)$$

$$t = 1, 2, 3, \dots, n$$

**3.2.1.1 Bestimmung des mittleren Anstiegs**

Einschränkung: Nur anwendbar bei bekannter Periodenlänge !

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^n X(t) - b \cdot \left(\frac{n}{2} + 1\right) \quad (3.6)$$

$$b = \frac{1}{n-P} \cdot \sum_{t=1}^{n-P} \frac{X(t+P) - X(t)}{P}$$

# Trendtest

## Trendtest

Spricht nichts gegen eine Linearität der Regressionsbeziehung zwischen Meßwert und Zeit, so wird der errechnete Regressionskoeffizient (Steigzahl der Trendgerade) auf Signifikanz geprüft. Dazu müssen folgende Größen bestimmt werden:

a.) Varianz der Meßwerte:

$$S_{x(t)}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \left( X(t) - \frac{1}{n} \left( \sum_{t=1}^n x(t) \right) \right)^2 \quad (3.8)$$

b.) Varianz der Zeitwerte:

$$S_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \left( t - \frac{1}{n} \left( \sum_{t=1}^n t \right) \right)^2 = \frac{n(n+1)}{12} \quad (3.9)$$

c.) Quadratsumme aller Abweichungen von der Trendgerade:

$$A = \sum_{t=1}^n (X(t) - a - b \cdot t)^2 \quad (3.10)$$

oder

$$A = (n-1) \cdot (S_{x(t)}^2 - b^2 \cdot S_t^2) \quad (3.11)$$

d.) Die Testgröße  $t_0$

$$t_0 = \sqrt{\frac{S_t^2}{A} (n-1) \cdot (n-2) \cdot b} \quad (3.12)$$

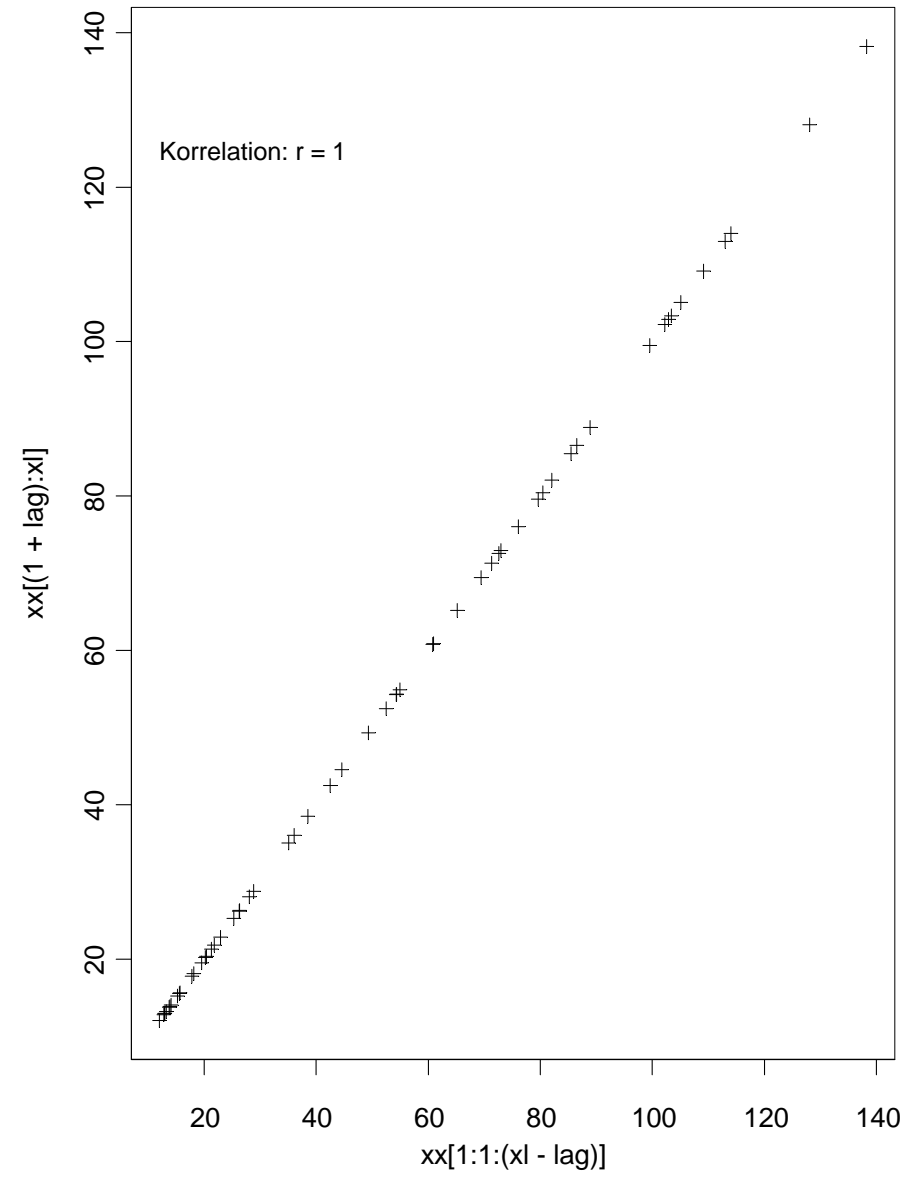
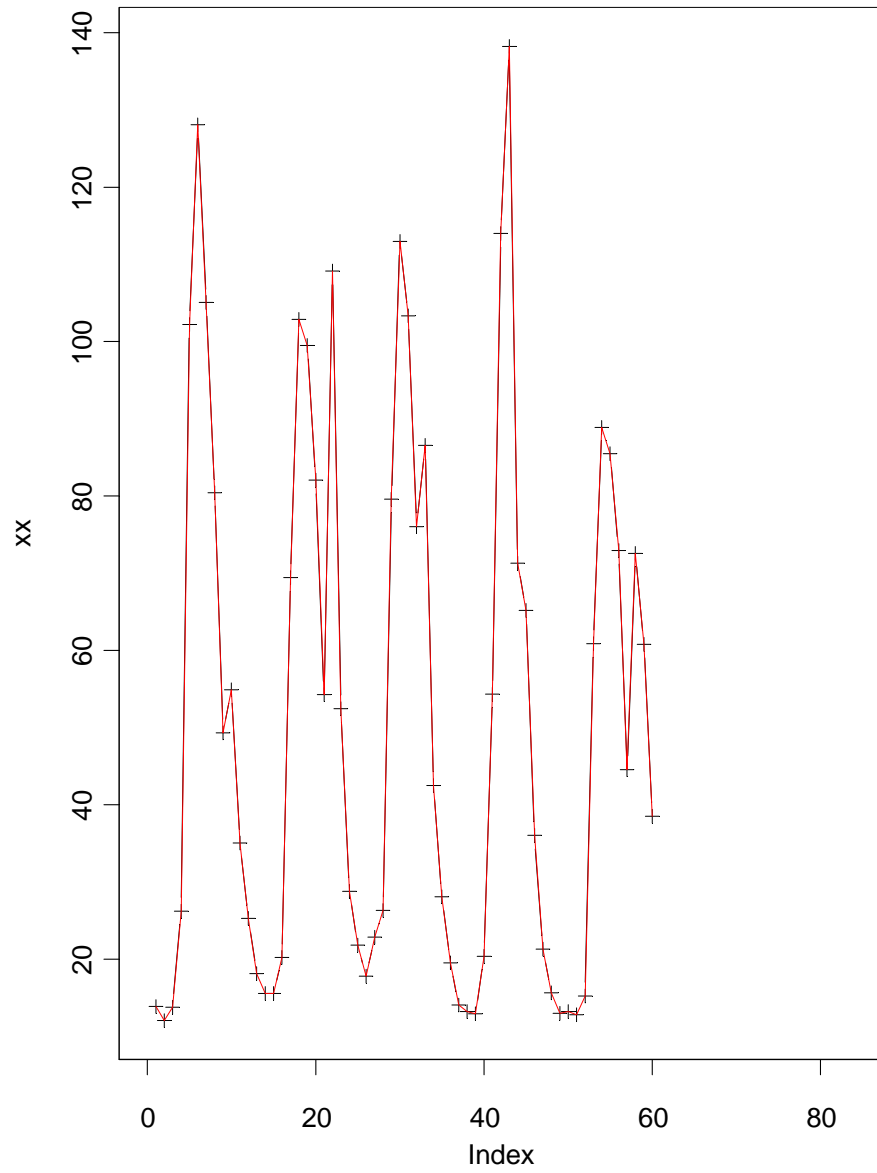
Falls  $t_0 < t_{n-2, \alpha, \text{zweiseitig}}$ , so kann auf dem gewählten Signifikanzniveau angenommen werden, daß der errechnete Trend zufälliger Natur ist. Ist jedoch  $t_0 > t_{n-2, \alpha, \text{zweiseitig}}$ , so unterscheidet sich der gefundene Trend signifikant von Null. In diesem Fall muß für eine weitere Analyse der Zeitreihe der Trendanteil eliminiert (subtrahiert) werden.

# Periodizität einer Zeitreihe

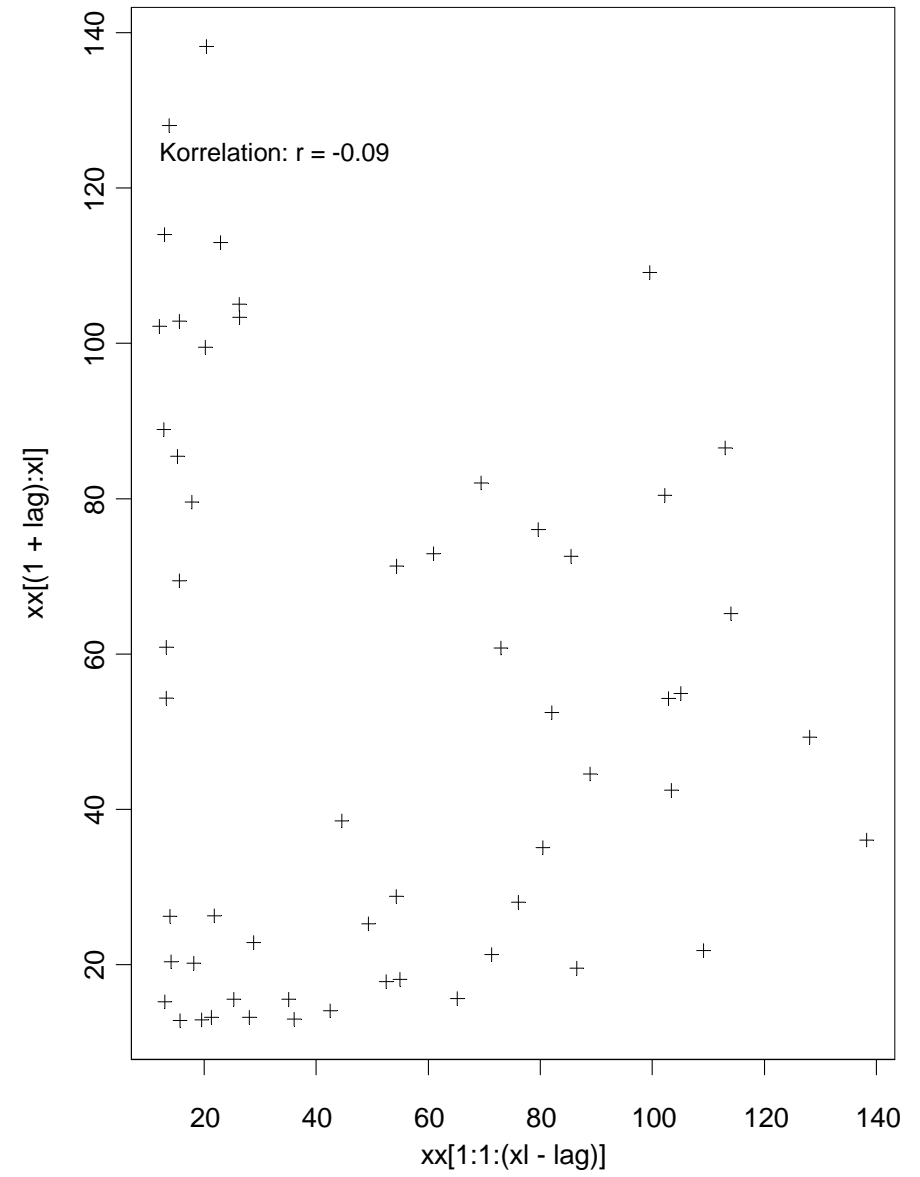
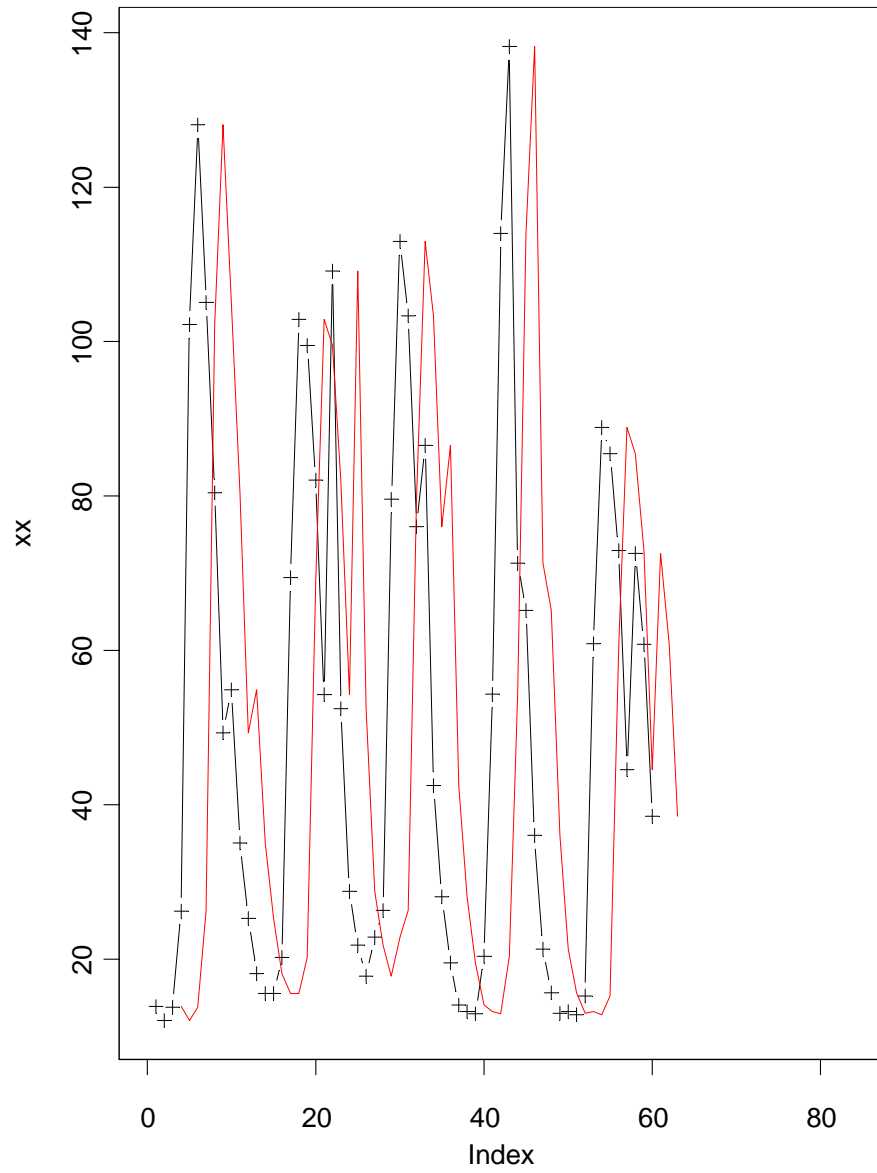
Hydrologische Zeitreihen unterliegen oft saisonalen Schwankungen, die durch den jahresperiodischen Zyklus der meteorologischen Randbedingungen geprägt sind. Zur Identifizierung der Periodizität dienen

- **die Autokorrelationsrechnung,**
- **die Spektralanalyse.**

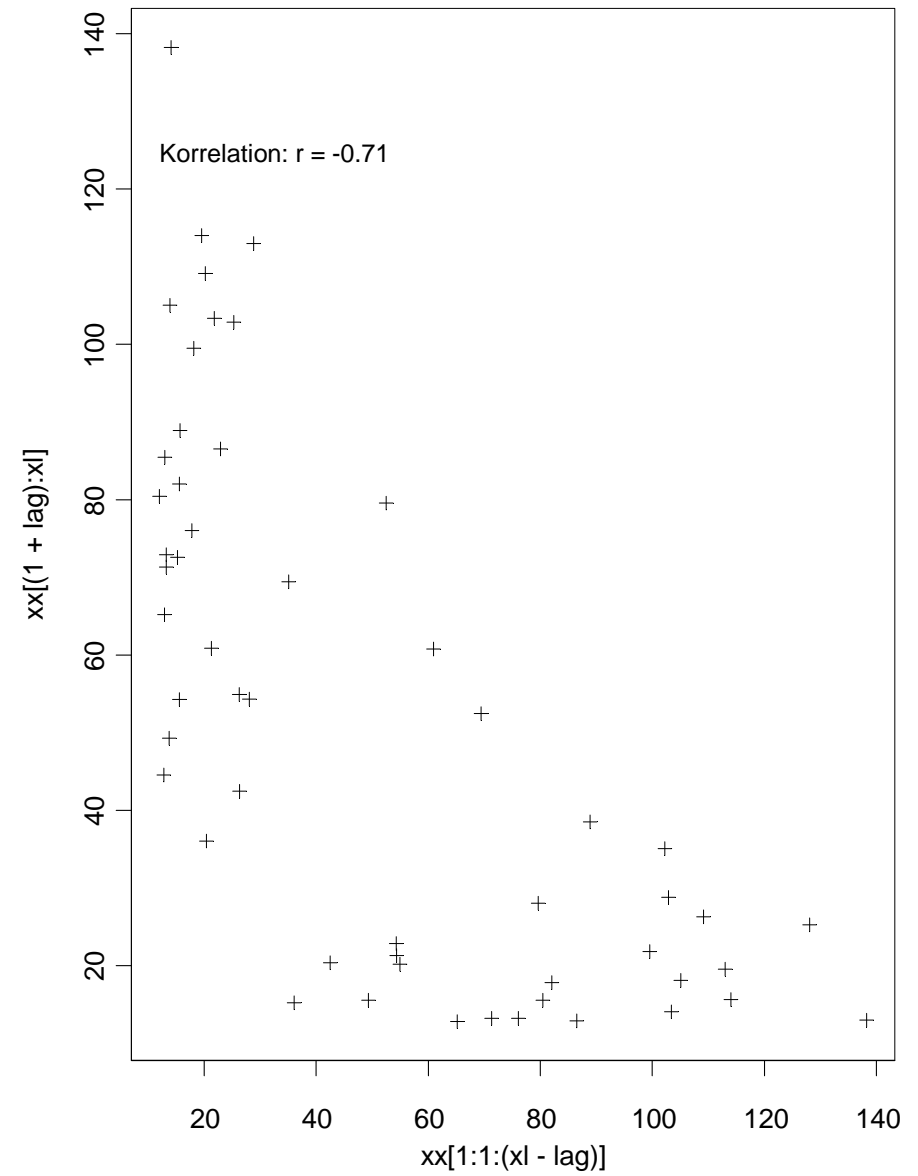
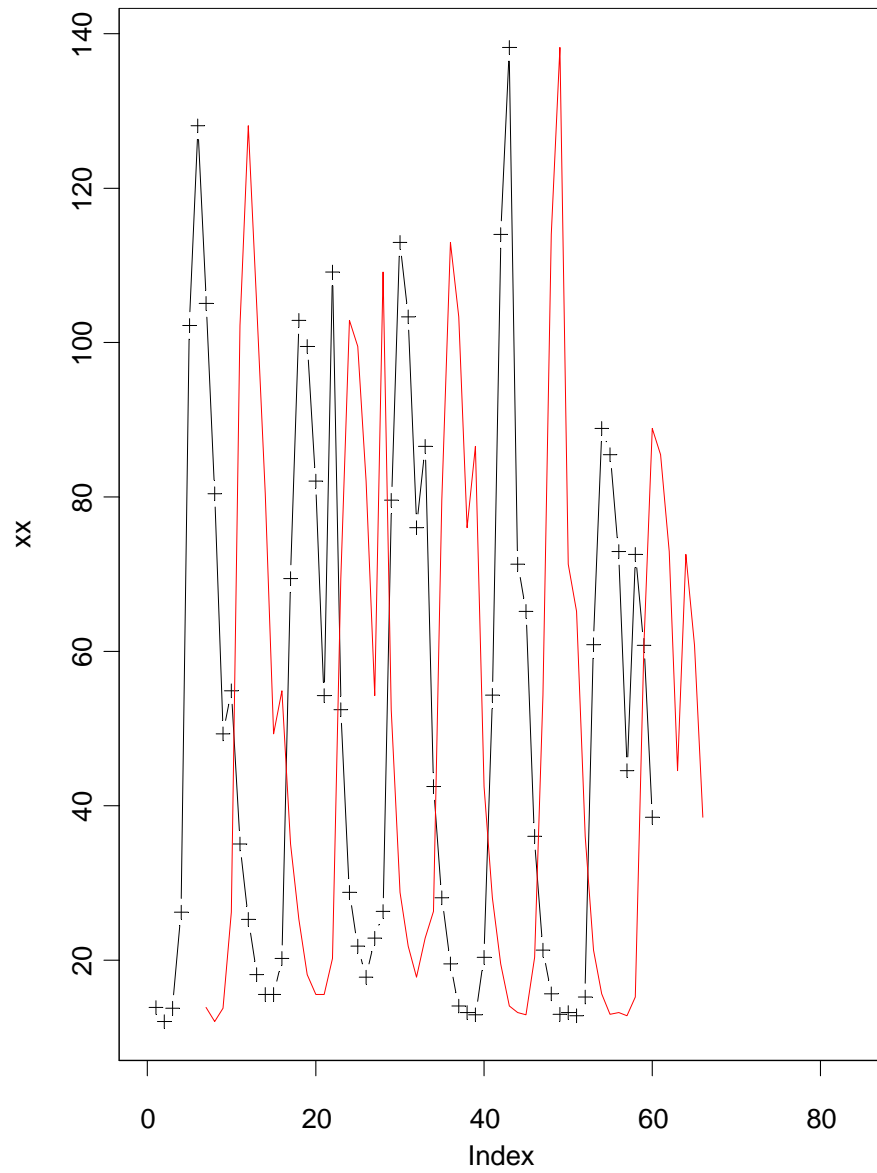
# Zeitverschiebung: 0



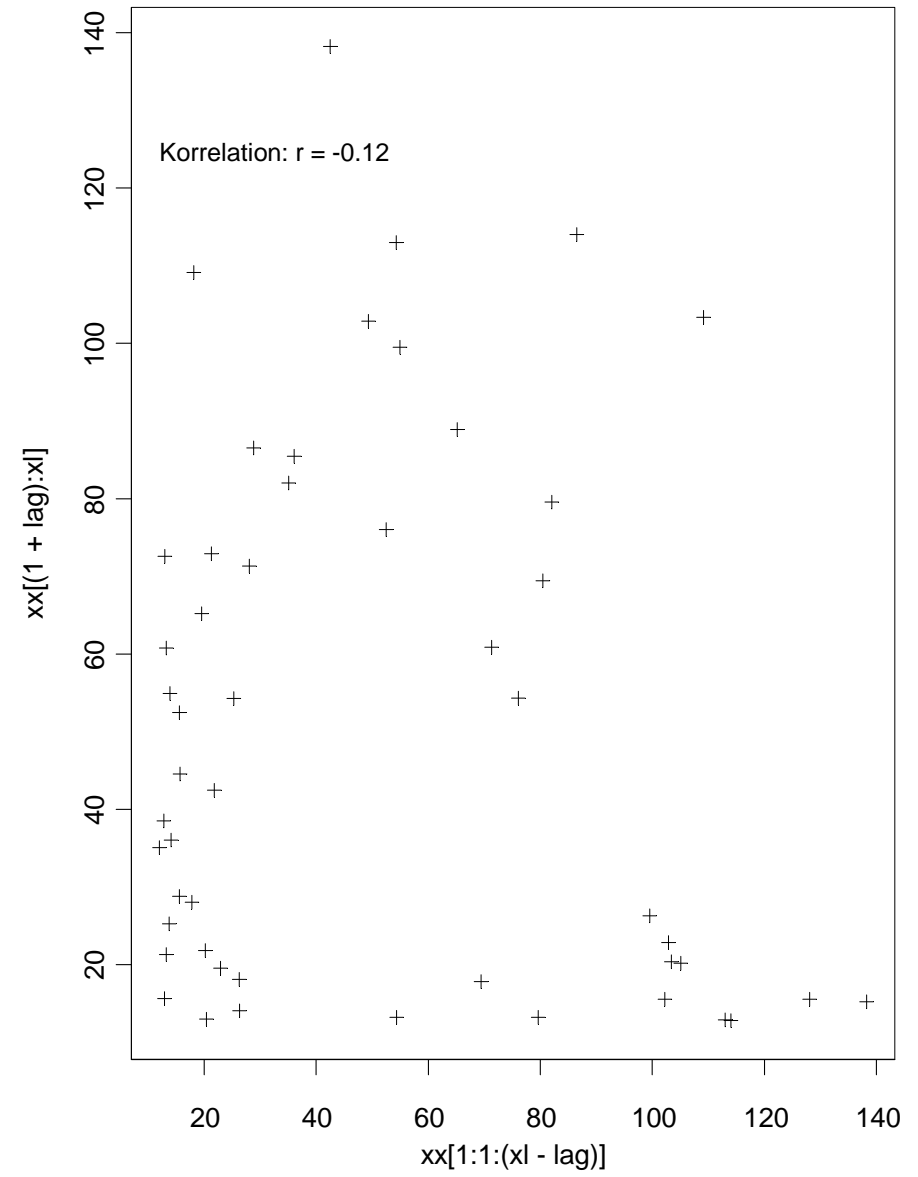
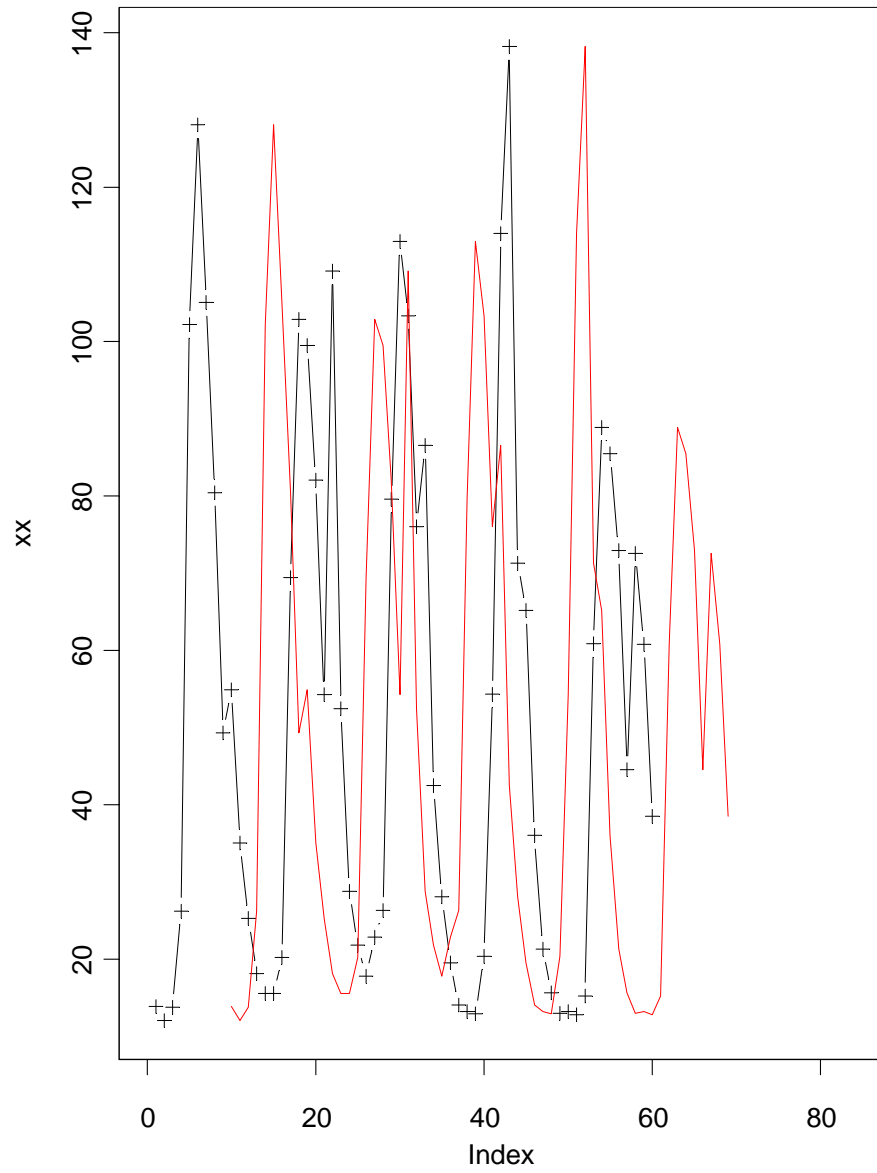
# Zeitverschiebung: 3



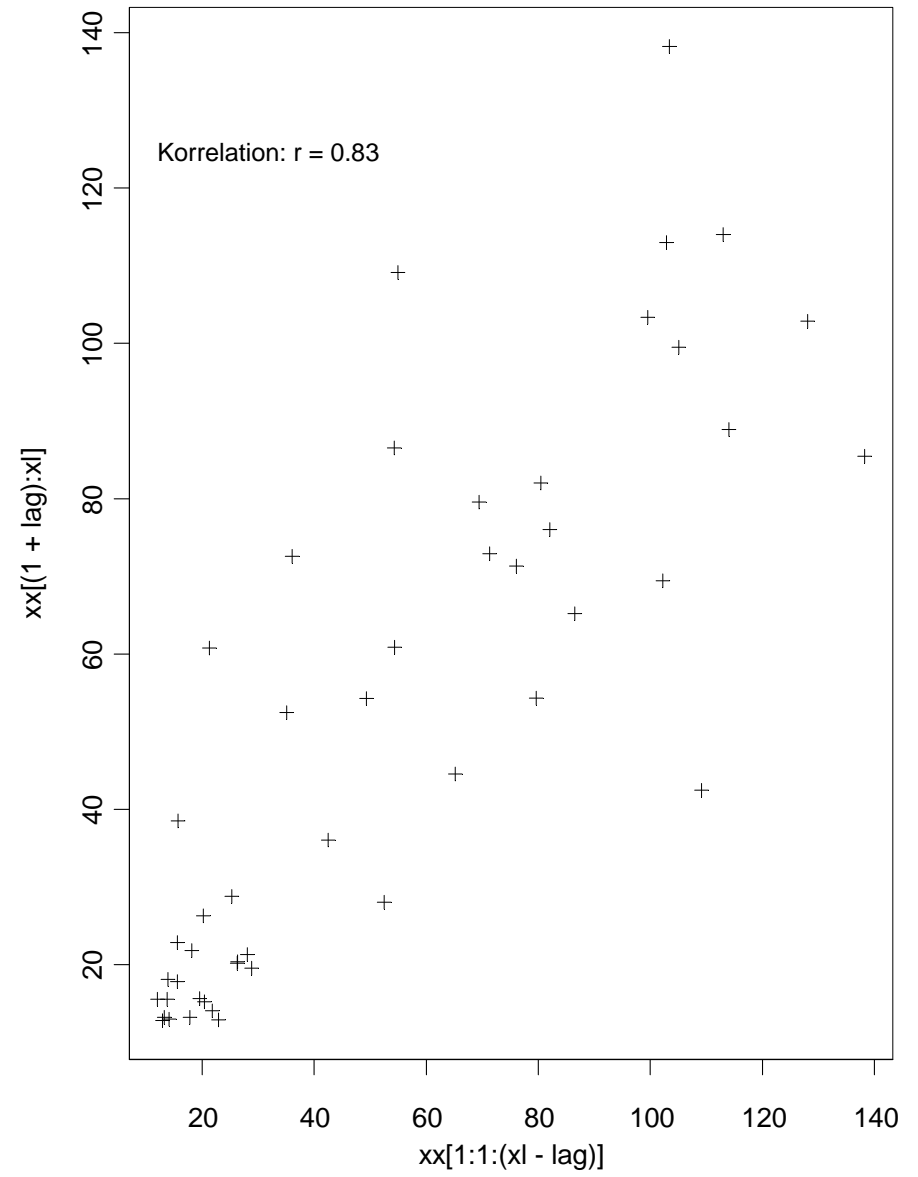
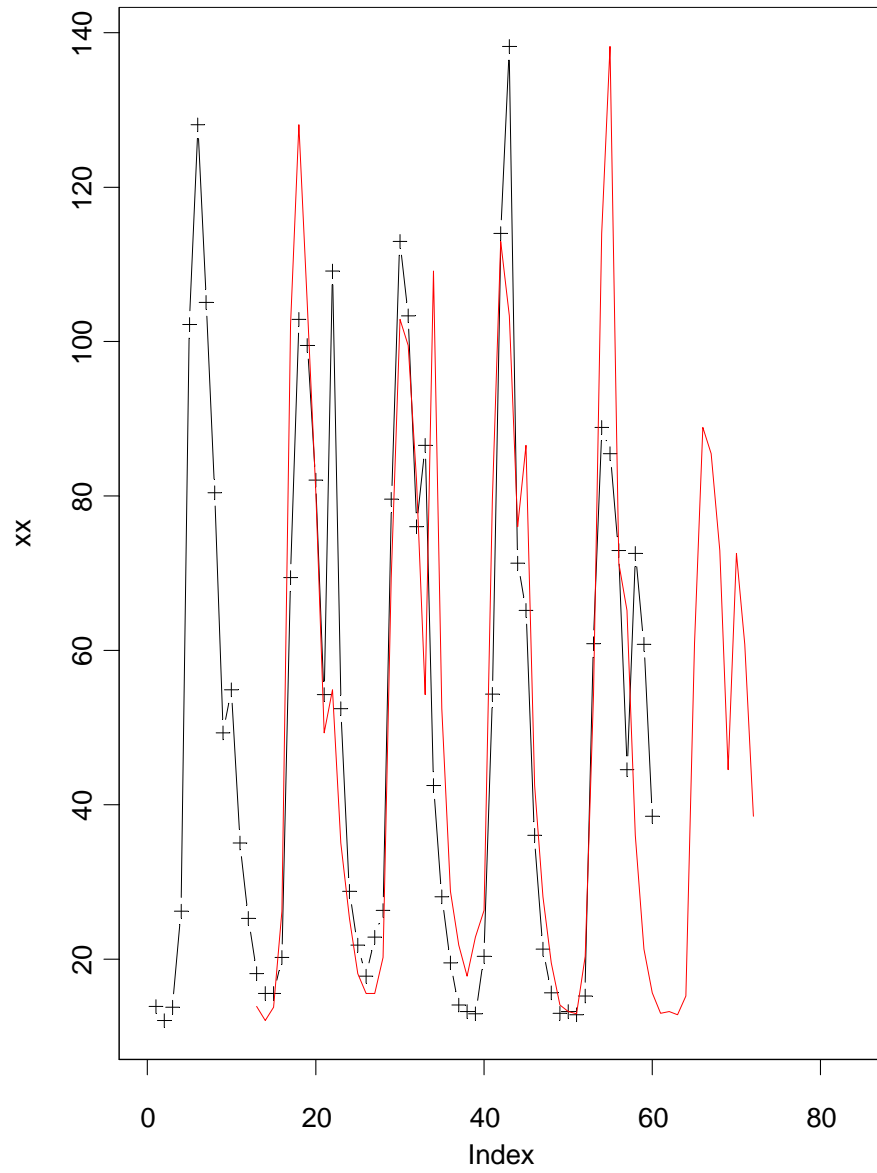
# Zeitverschiebung: 6



# Zeitverschiebung: 9

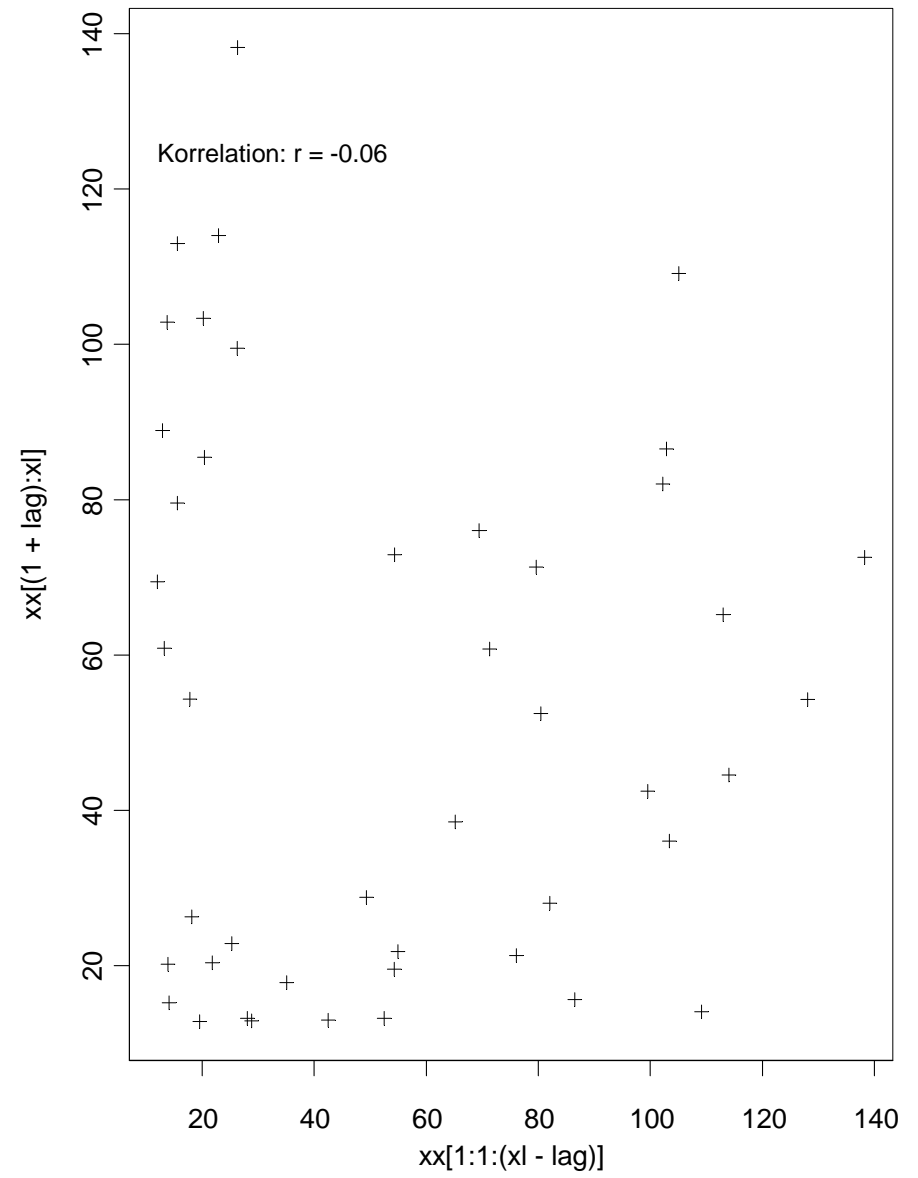
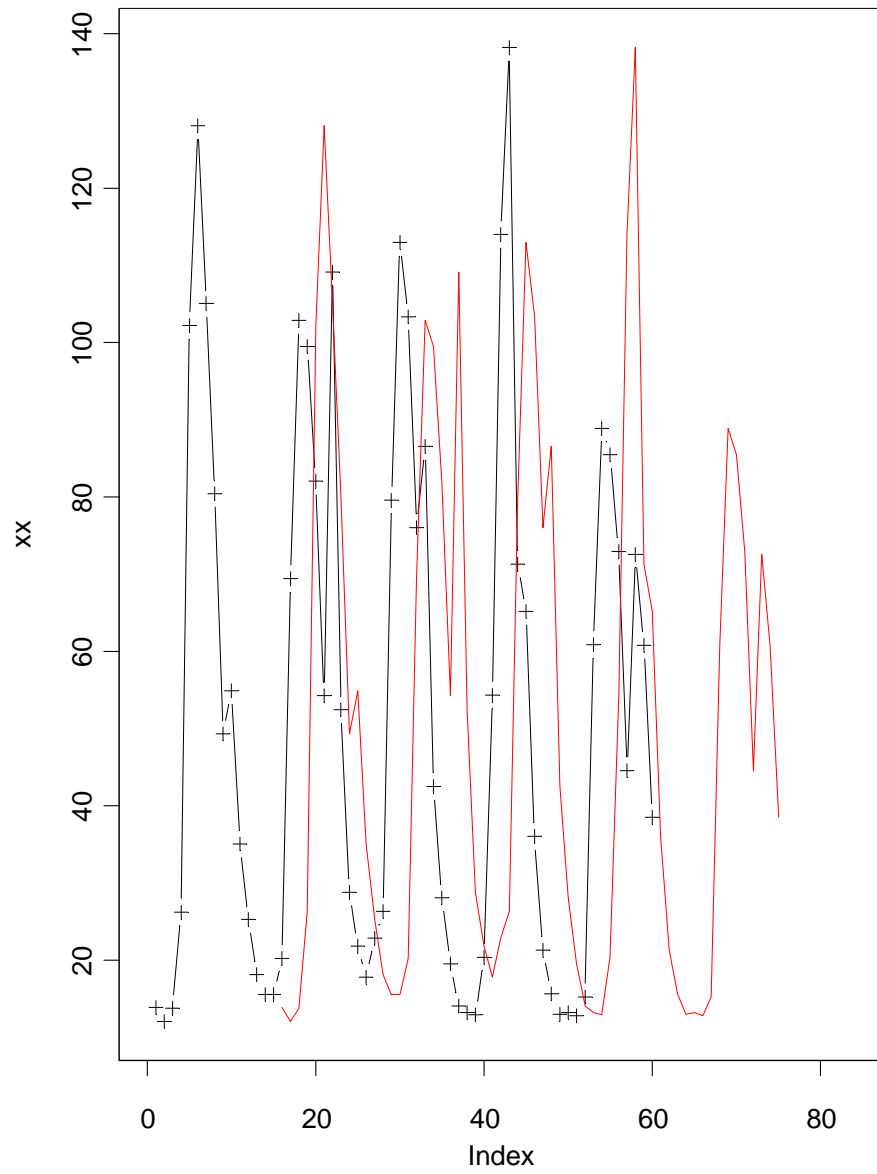


# Zeitverschiebung: 12

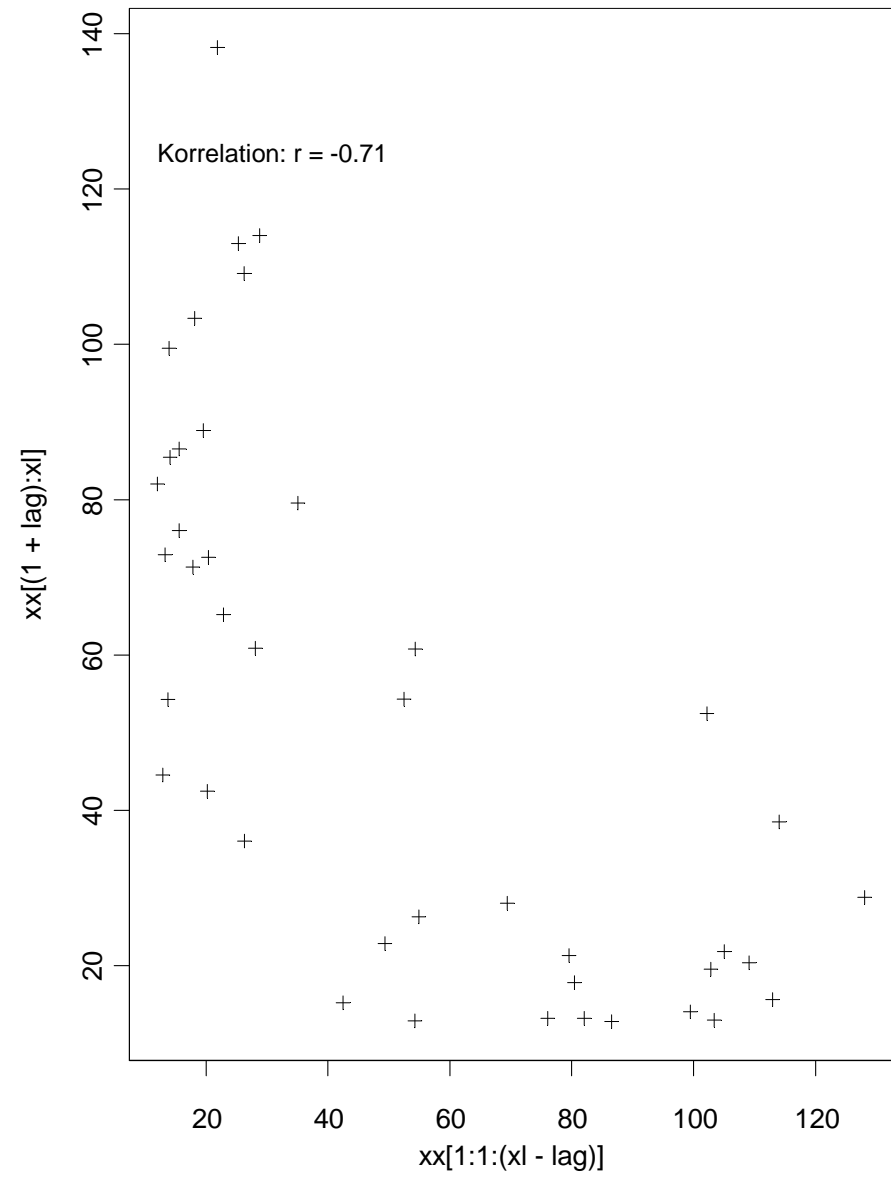
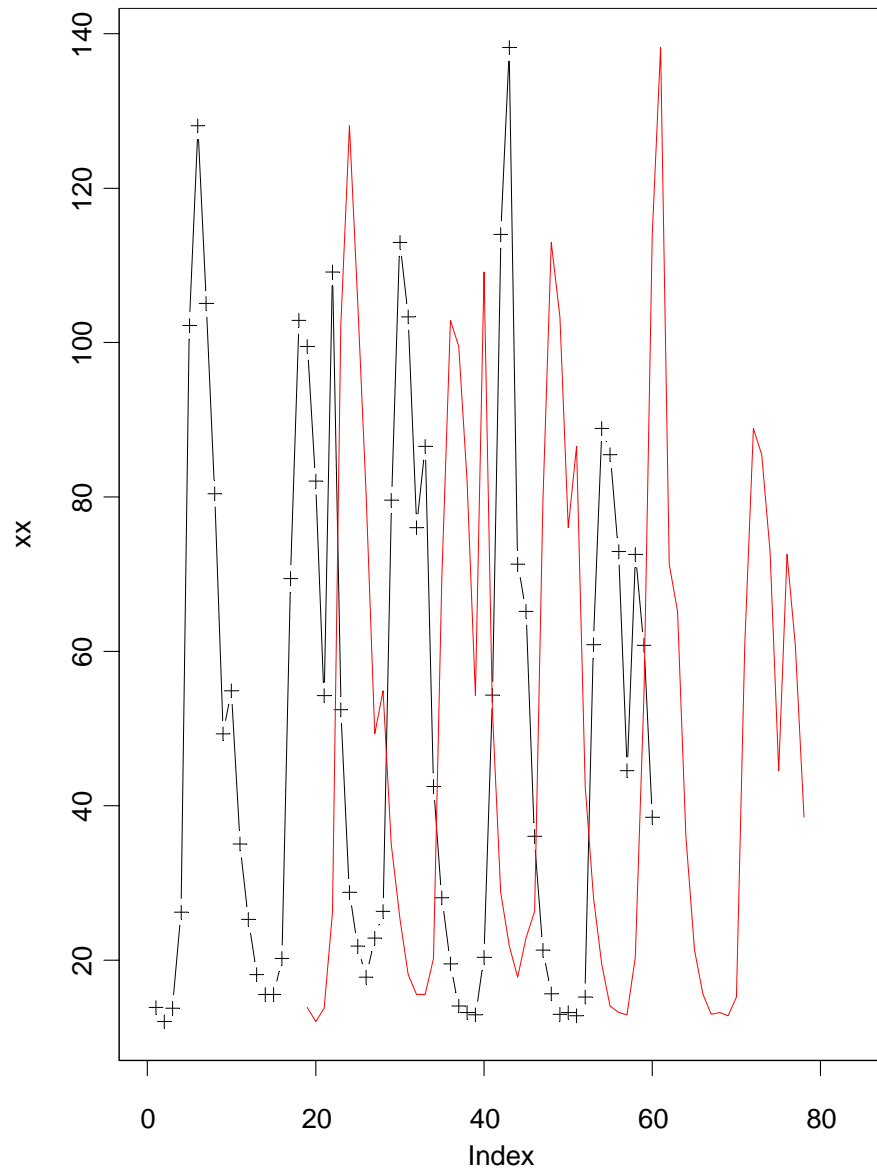




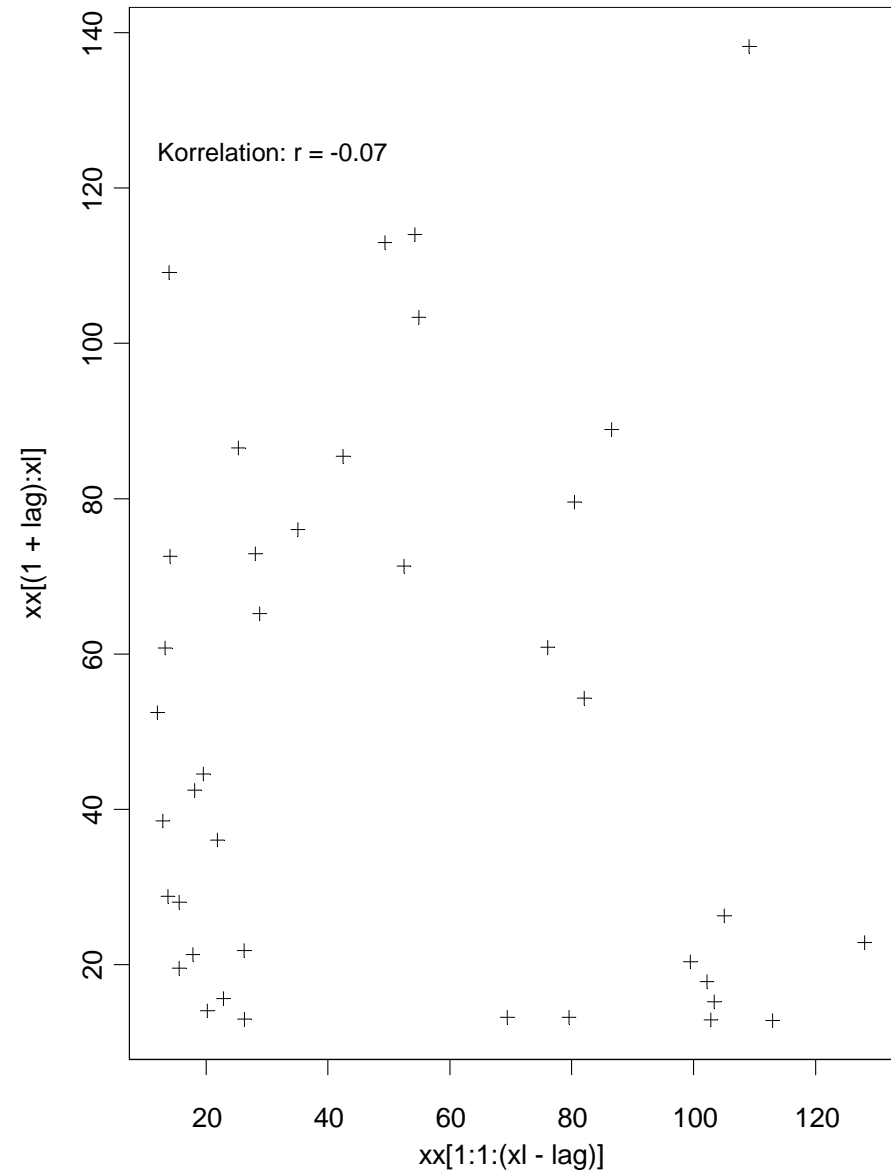
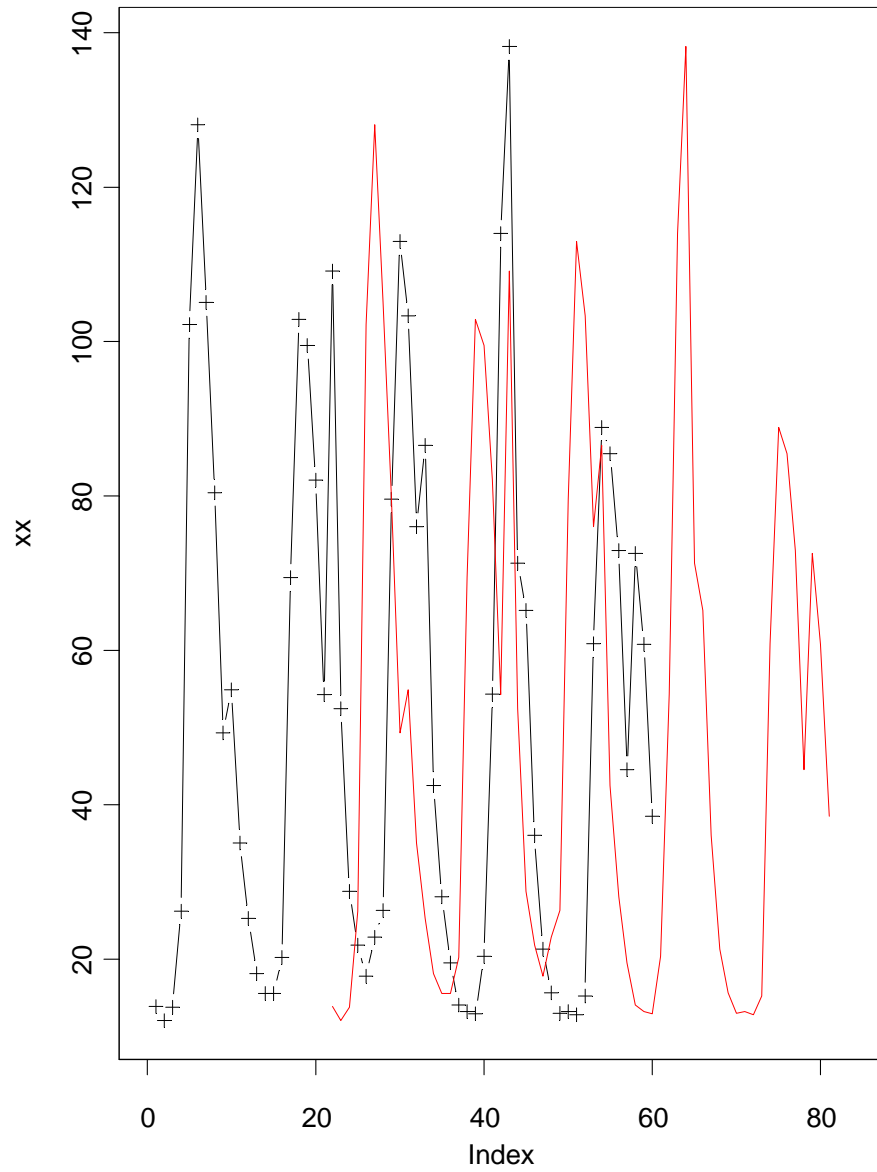
# Zeitverschiebung: 15



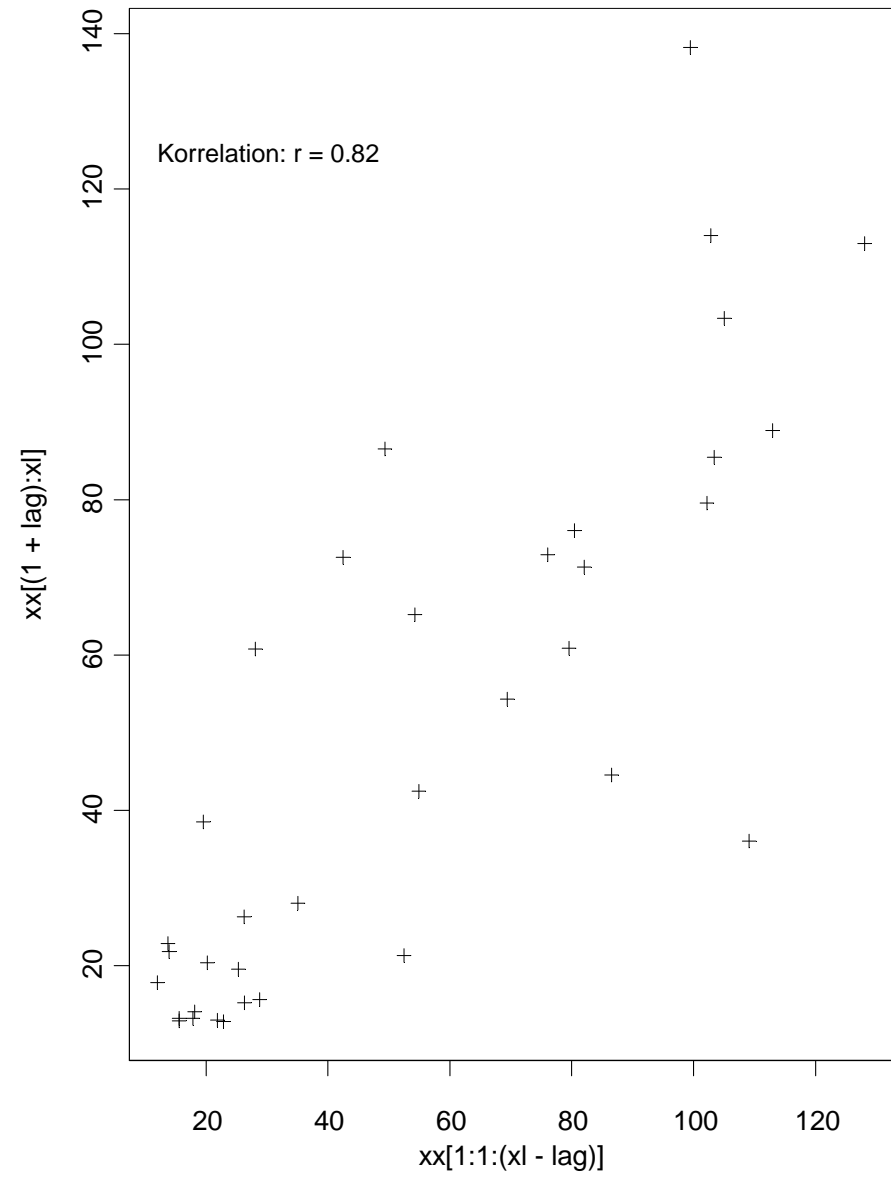
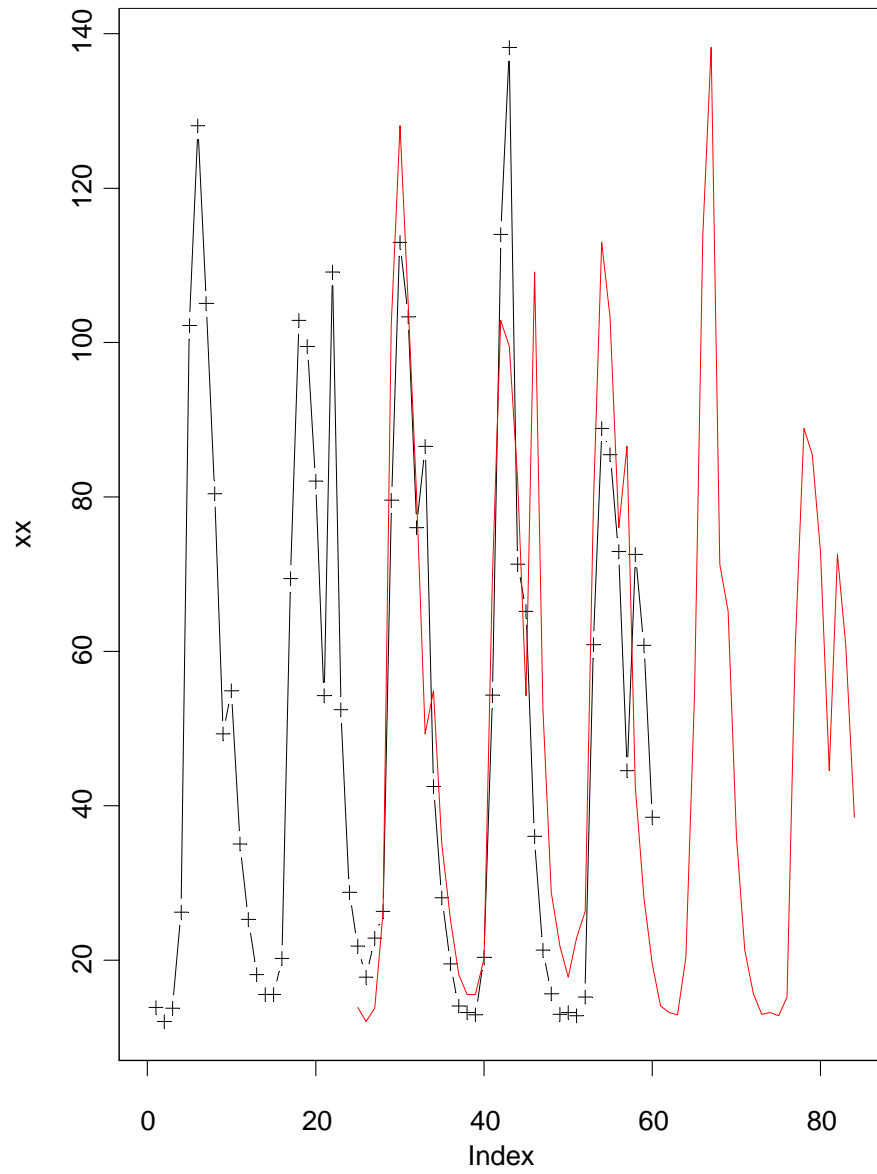
# Zeitverschiebung: 18



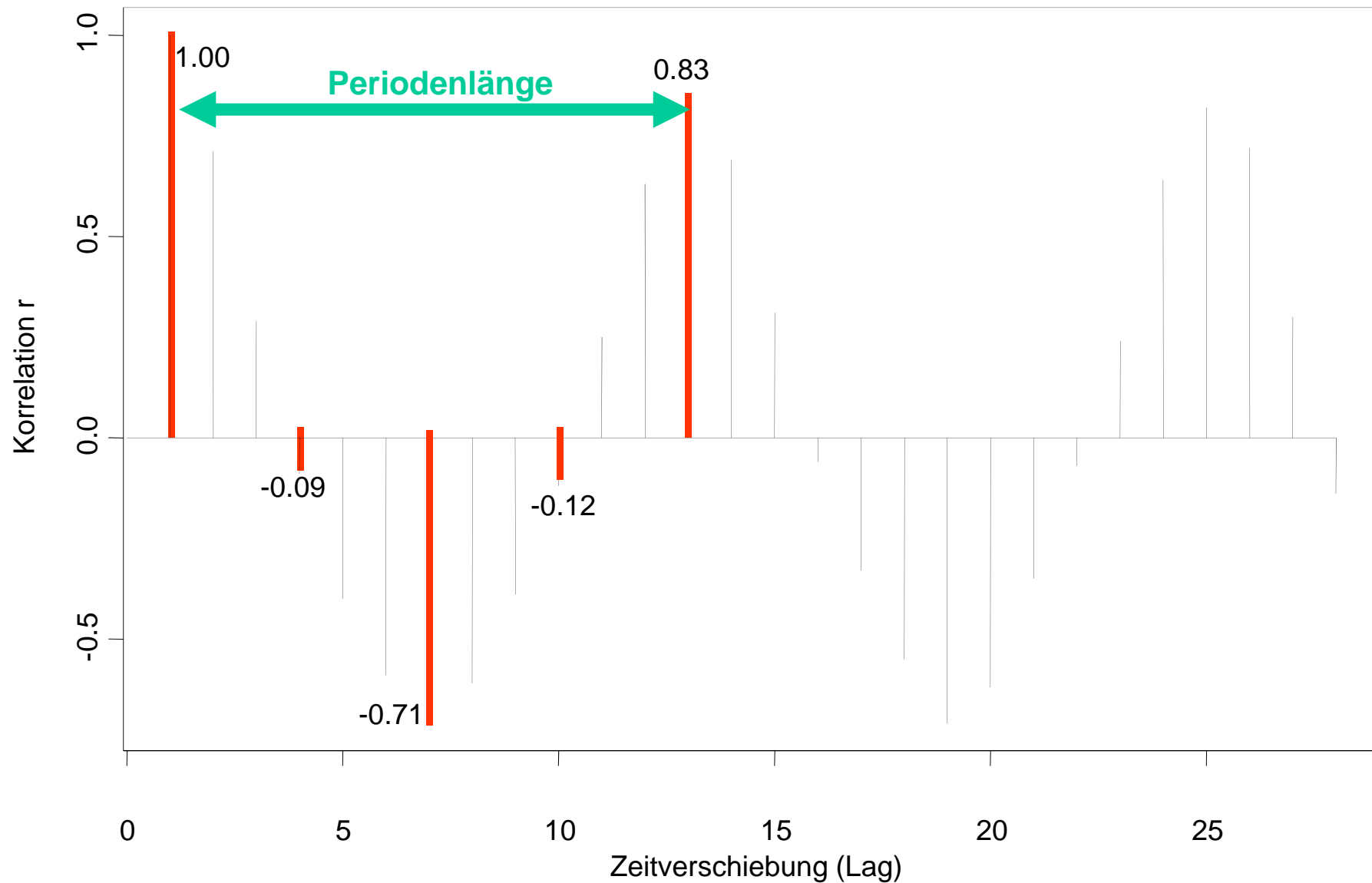
# Zeitverschiebung: 21



# Zeitverschiebung: 24



# Autokorrelogramm



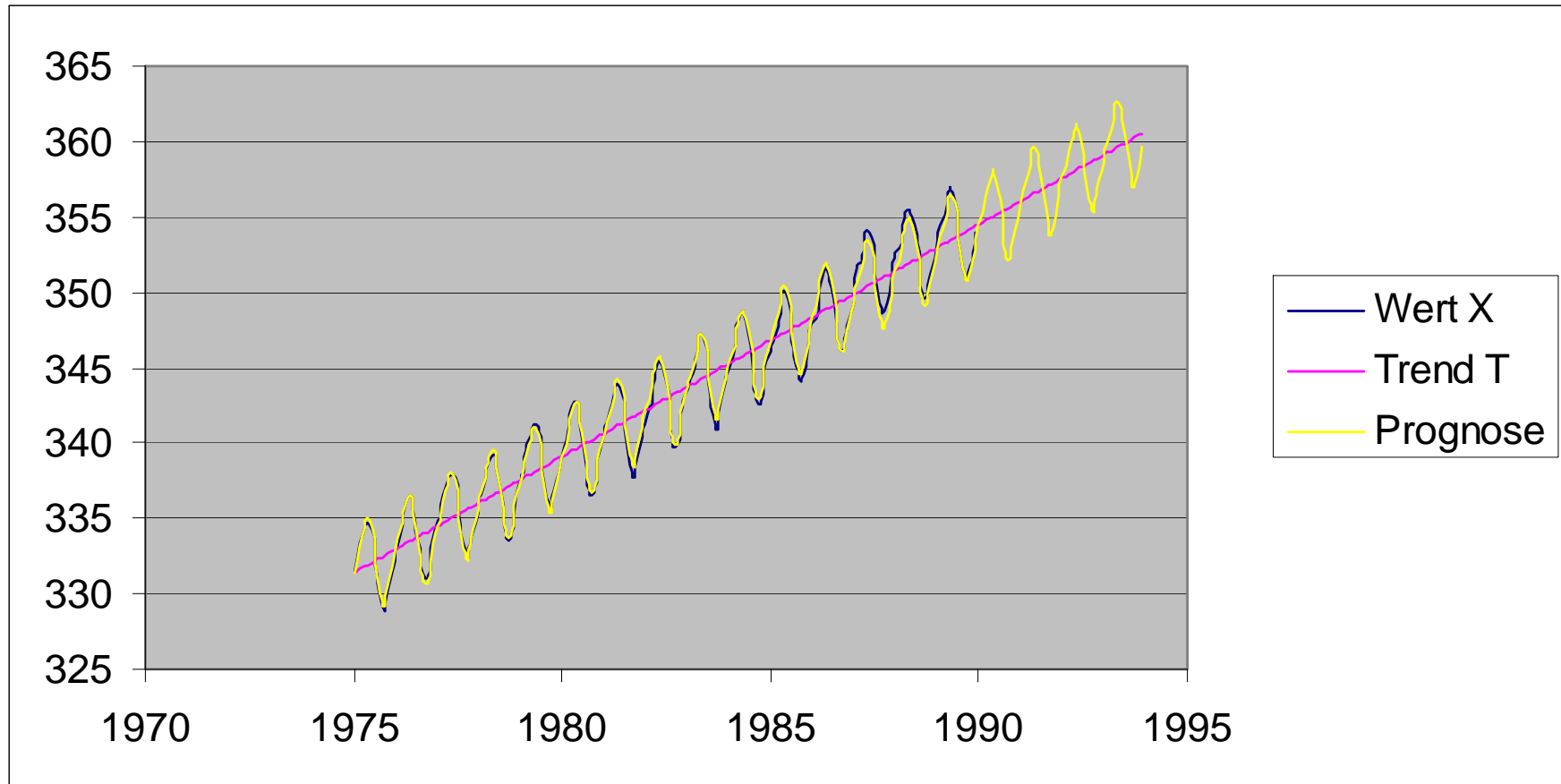
## Mittlerer Periodenverlauf

- (1) Festlegung der Periodenlänge  $k$  (mittels Autokorrelogramm)
- (2) Unterteilung der Zeitreihe in  $n$  Periodenabschnitte (z.B. Jahre)
- (3) Mittelung der Periodenelemente (z.B. aller Jännerwerte)

$$\bar{X}_i = \left|_{i=1}^k \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{i+(j-1) \cdot k}$$

- (4) Zusammenfügen der  $k$  mittleren Periodenverläufe

# Prognose (Extrapolation in die Zukunft):



Aktion [Beschreibung/Vortragende wegekopieren](#)  
 Auswahl [Detailansicht](#) [Bearbeitung](#)  
 weitere Info [TeilnehmerInnen](#) [gleiche LV](#) [Evaluation](#)

**Lehrveranstaltung - Detailansicht**

**Allgemeine Angaben**

Titel	Hydrologie und Wasserwirtschaftliche Planung (verpflichtend im Modul)
Nummer	816300
Art	Vorlesung-Übung
Semesterstunden	2 Vorlesung/1 Übung
Angeboten im Semester	2010S
Vortragende/r (Mitwirkende/r)	<a href="#">Nachtnebel Hans-Peter ( Greimel Franz )</a> , <a href="#">Fürst Josef</a> , <a href="#">Holzmann Hubert</a>
Organisation	<a href="#">Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau (IHW)</a> <a href="#">Kontakt</a>
Stellung im Studienplan/ECTS Credits	<a href="#">Pflichtfach: 0   Wahlfach: 2   Doktoratsstudien: 0</a>

**Angaben zur Abhaltung**

Inhalt	Statistik hydrologischer Variablen und modellmäßige Beschreibung der hydrologischen Prozesse. Nach Vermittlung der grundlegenden Auswertungsverfahren von hydrologischen Datenreihen werden deren kennzeichnende Parameter und ihre Aussagekraft für Bemessungsverfahren erläutert. Insbesondere werden Extremwerte (Hoch-Niederwasser, Wasserfrachten, Starkregen, Trockenperioden) behandelt. Die statistischen Zusammenhänge zwischen mehreren hydrologischen Variablen werden zuerst durch multivariate statistische Verfahren beschrieben, wobei die zeitlichen und räumlichen Skalen berücksichtigt werden. Die verschiedenen hydrologischen Modelle werden neben dem statischen Verfahren noch in Form von konzeptiven und deterministischen Modellen behandelt. Insbesondere werden Niederschlags-Abflussmodelle, Flood Routing, Schneeschmelzverfahren und Flußgebietsmodelle beschrieben. Der Übergang von reinen Input-Outputmodellen zu detaillierten 3D-Verfahren, die Oberflächenprozesse, die Bodenzone und das Grundwasser einbeziehen, wird anhand typischer internationaler Modelle erläutert. Der Einfluß von Klima und Vegetation wird diskutiert.
Inhaltliche Voraussetzungen (erwartete Kenntnisse)	keine
Ziel (erwartete Lernergebnisse und erworbene Kompetenzen)	Das Verständnis hydrologischer Prozesse deren natürliche raumzeitliche Variabilität und die physikalischen Grundlagen soll vermittelt werden. (2) Den Hörem wird ein Überblick über hydrologische Modellkonzepte und deren Anwendungsmöglichkeiten geboten. Es soll damit die der jeweiligen hydrologischen Fragestellung entsprechende Auswahl aus der Vielzahl der verfügbaren Modelle ermöglicht werden. Die Datenanforderungen und der Bearbeitungsaufwand der verschiedenen Verfahren soll die Auswahl erleichtern.
Unterrichts-/Lehrsprachen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deutsch</li> </ul>
Lehr- und Lernmethode (Vermittlung der Kompetenzen)	
Abhaltungstermine	<a href="#">Details</a>
Teilnahmekriterien & Anmeldung	<a href="#">Details</a>

**Angaben zur Prüfung**

Voraussetzungen laut Studienplan	keine
Beurteilungsschema (Bewertungsmethode, Prüfungsmodus)	
Prüfungstermine & Anmeldung	<a href="#">Details</a>
Anzahl der Prüfungstermine im Semester	immanenter Prüfungscharakter
Statistische Auswertung der Prüfungsergebnisse	<a href="#">Details</a>

**Zusatzinformationen**

Empfohlene Fachliteratur	
Online Informationen	<a href="#">Online Unterlagen</a> <a href="#">LV-Unterlagen</a>
Anmerkung	



## ***Lehrveranstaltungs-Homepage:***

<http://iwhw.boku.ac.at/LVA816300/!List/>

oder über BOKUonline



### **Studienunterlagen zu /LVA816300/**

Name	Letzte Änderung	Größe (Bytes)
<a href="#">Hydrologie u WWPL310309korrSteinbauer.pdf</a>	31-Mar-2009 15:14	6.2M
<a href="#">daten/</a>	03-Apr-2009 03:37	-
<a href="#">folien/</a>	29-Jun-2009 07:21	-
<a href="#">info/</a>	30-Mar-2009 07:17	-

# Anmeldeliste 2013

lfd.Nr.	Familien- oder Nachname	Vorname	Matrikelnummer		lfd.Nr.	Familien- oder Nachname	Vorname	Matrikelnummer
1	Abfalter	Mario	0840840		38	Liebhard	Gunther	0652799
2	Anibas	Markus	0702829		39	Lindner	Gerhard	0708447
3	Beltzung	Edwige	0802513		40	Luft	Thomas	0825869
4	Benold	Christian	0025779		41	Mair	Stefan	0740699
5	Berkold	Maximilian	0740386		42	Metzler	Miriam	0740786
6	Braumann	Sandra	0604740		43	Moser	Georg	0840613
7	Clemenz	Nikolaus Johannes	0840639		44	Nagl	Georg	0540355
8	Daxboeck	Stefanie	0340568		45	Neumayer	Florian	0240260
9	Dumfarth	Florian	0640072		46	Payerl	Vanessa	0640155
10	Ecker	Ursula	0741105		47	Pfemeter	Martin	0740112
11	Erasim	Peter	0707844		48	Prötsch	Michael	0640672
12	Feigl	Dominik	0253253		49	Pucher	Isabella	0840819
13	Fichtinger	Christoph	0840271		50	Quast	Sarah	1041640
14	Floriancic	Marius	0652196		51	Rauch	Pablo	0740226
15	Frohn	David	1041735		52	Renner	Ulrich	0740808
16	Glock	Kurt	0840314		53	Rieder	Jakob	0727253
17	Gottlieb	Andreas	9709321		54	Rindler	Rolf	0540623
18	Grath	Benedikt	0746419		55	Roscheck	Christoph	0740096
19	Haider	Alexander	8415503		56	Scherer	Christian	0841302
20	Hamader	Klaus	0840916		57	Schobesberger	Johannes	0726560
21	Harteringer	Stefan	0840863		58	Sem	Paul	0840397
22	Hellwagner	Klaus	0825324		59	Serloth	Clemens	0840520
23	Hingerl	Philipp	0941039		60	Sorg	Linda Verena	1241520
24	Holzapfel	Patrick	0540265		61	Steindl	Eva Verena	0504752
25	Honsig-Erlenburg	Gabriel Franz	0440236		62	Steininger	Matthias	0740255
26	Jandl	Florian Georg	0641203		63	Steinkellner	Fabian	0840917
27	Javorszky	Matthias	0608908		64	Stierschneider	Elisabeth	0940008
28	Kikuta	Felix	0840625		65	Strasser	Paul	0840319
29	Klambauer	Teresa	0840683		66	Strieder	Emanuel Cherubino	0940016
30	Kloibmüller	Alexander	0840333		67	Thomschitz	Barbara	0640549
31	Koppensteiner	Matthias	0726998		68	Tutzer	Ruben	0825779
32	Krammer	Johannes	0540235		69	Üblacker	Maria	0640169
33	Lagler	Stefan	0440586		70	Wechner	Sarah	0207317
34	Langitz	Niklas	0940088		71	Weninger	Thomas	0840770
35	Lanza	Claudio	1241389		72	Wijnstra	Eiko	0840401
36	Lebiedzinski	Katharina	0740567		73	Winkelhofer	Markus	0940564
37	Libisch	Christoph	0740513		74	Wolf	Johannes	0840655
38	Liebhard	Gunther	0652799		75	Zaborskyte	Indre	0753649
					76	Zehetbauer	Ingrid	0640830
					77	Zyika	Ira Kristen	1140737

Die Angabedatei beinhaltet die Laufende Nummer lfdn.Nr (z.B. ang25.txt)

# Berechnung des Übungsprogramms

- Herunterladen der Angaben von der LV-Homepage (ang1.txt bis ang80.txt) gemäß der Anmelde­nummer (**Achten auf Kommaeinstellung Punkt oder Beistrich !**)
- Berechnung des Trendanteils ( $X' = a + b * t$ ), d.h. Berechnung von a (Achsenabschnitt) und b (Steigung).
- Berechnung des Autokorrelogramms der trendfreien Reihe
- Festlegung der Periodenlänge
- Ermittlung des mittleren periodischen Jahresgangs (Mittelung der Jännerwerte, Februarwerte, etc.)
- Simulation der Zeitreihe für den Beobachtungszeitraum
- Extrapolation (Prognose) für weitere 3 Jahre

## Protokoll

- Graphische Darstellung der Ergebnisse (Trend, mittlere Periode, Periodenverlauf, Simulation, Prognose)
- Kurze textliche Beschreibung der Arbeitsschritte (max. 1 Seite)
- Abgabe des Protokolls bei Prof. Holzmann (während der Sprechstunden) oder im Sekretariat des IWHW (3. Stock) bis 14. 6. 2013!