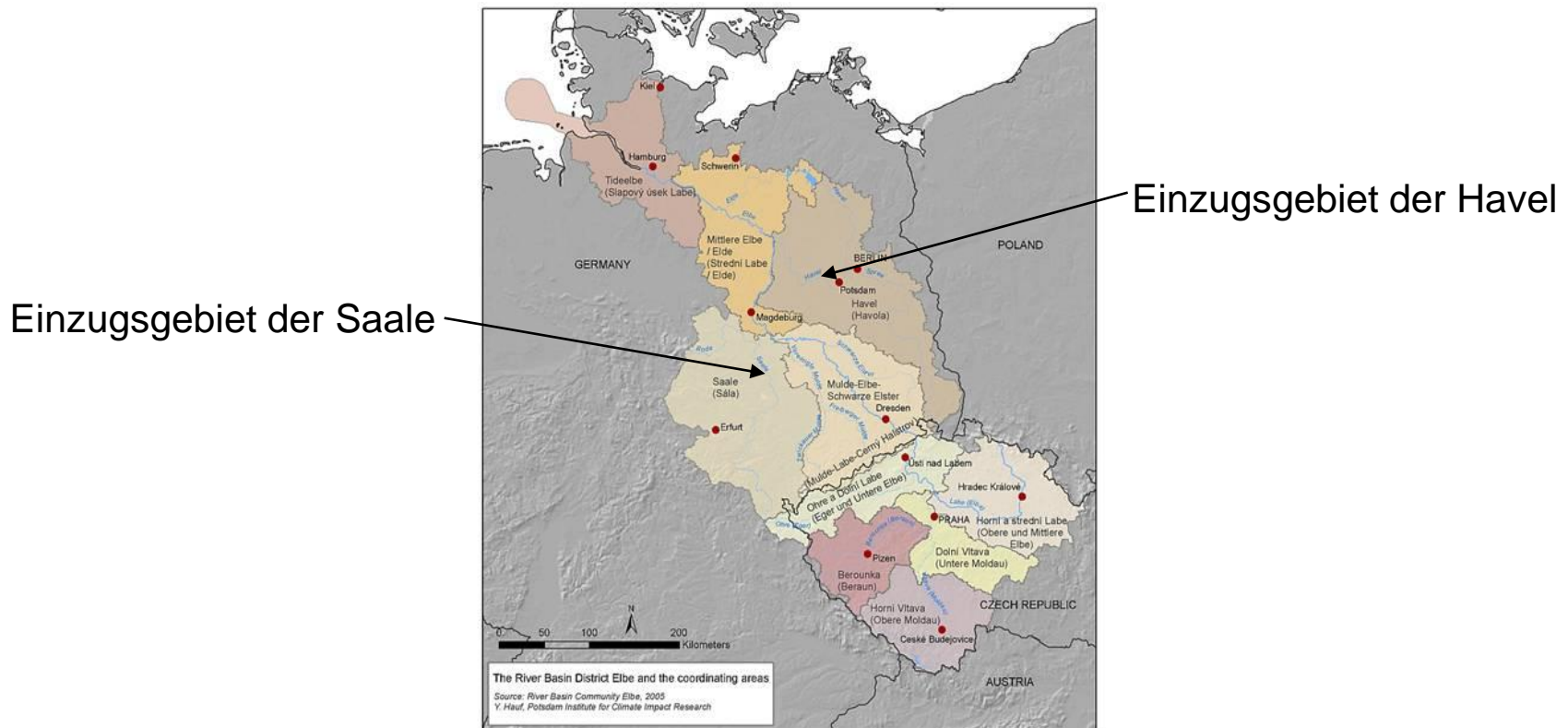


Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Niedrigwasserabflüssen und Überschreitungsdauern im Elbegebiet

AN: Dr. Finke, Walter und Dipl.-Hydrol. Krause, Sigrid, BfG

AG: Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg (2006)
Wasserstraßen-Neubauamt Berlin (2007)

Untersuchungsgebiet



Einzugsgebiet der Elbe in der Tschechischen Republik (50176 km²) und in der Bundesrepublik Deutschland (96932 km²); die abflussstärksten Nebenflüsse sind auf tschechischem Gebiet die Moldau und auf deutschem Gebiet die Saale und Havel.

Zielstellung

■ **Vergleich des Langzeitverhaltens der Niedrigwasserserien der Saale- und Havelpegel**

mit

- **Niedrigwasserserien der Elbe und weiterer Nebenflüsse**
- **Klimagrößen**
- **Speicherabgaben**
- **Entnahmen, Einleitungen und Nutzungsverlusten**
- **Wasserüberleitungen und**
- **Einleitungen der Braunkohlentagebaue**

zur

**Erklärung der Inhomogenitäten in den Niedrigwasserserien und
Entdeckung regionaler Unterschiede**

Pegelübersicht

Pegel	Gewässer	Reihe	Pegel	Gewässer	Reihe	Pegel	Gewässer	Reihe	Pegel	Gewässer	Reihe
Hof	Sächs. Saale	1921-2004	Oberthau	Weißer Elster	1973-2004	Bautzen Weite Bleiche	Spree	1942-2005	Borgsdorf	Havel	1977-2005
Möschlitz	Wisenta	1935-2004	Halle-Trotha UP	Saale	1955-2004	Große Tränke Wehr	Spree	1963-2005	Ketzin	Havel	1936-2005
Kaulsdorf	Saale	1956-2004	Großschierstedt	Wipper	1961-2004	Neue Mühle UP	Dahme	1971-2005	Rathenow Hauptschl. UP	Havel	1951-2005
Freienorla	Orla	1948-2004	Trautenstein	Rappbode	1964-2004	Wernsdorf OP	OSK	1954-2005	Babelsberg	Nuthe	1955-2005
Niedertrebra	Ilm	1923-2004	Wendefurth	Bode	1968-2004	Berlinzufluss	Spree+OSK +Dahme	1971-2005	Brandenburg-Wilhelmsdorf	Nuthe	1955-2005
Naumburg-Grochlitz	Saale	1932-2004	Silberhütte	Selke	1949-2004	Sophienwerder	Spree	1961-2005			
Laucha	Unstrut	1946-2004	Hadmersleben	Bode	1931-2004	Kleinmachnow Schleuse OP	Teltowkanal	1956-2005			
Greiz	Weißer Elster	1951-2004	Calbe-Grizene	Saale	1946-2004						
Zeitz	Weißer Elster	1954-2004							Dresden	Elbe	1852-2005
Böhlen I	Pleiße	1959-2004	Barby	Elbe	1900-2004				Barby	Elbe	1900-2005
Leipzig-Thekla	Parthe	1942-2004	Magdeburg-Strombrücke	Elbe	1931-2004				Wittenberge	Elbe	1900-2005

Untersuchungsmethodik

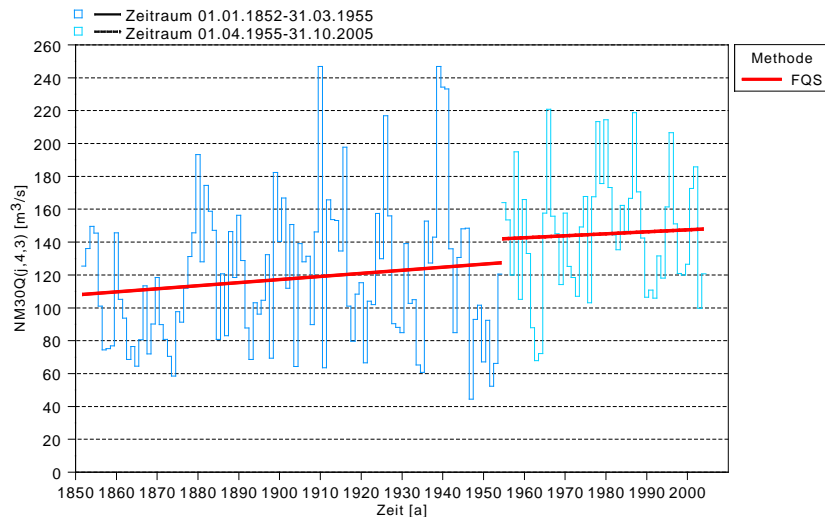
für die statistischen Untersuchungen der täglichen Durchflüsse der betrachteten Pegel auf der Basis des Wasserhaushaltsjahres:

- **Bildung von Serien von Niedrigwasserabflüssen $NM \times Q$, Unterschreitungsdauern $SumD$ und Defizitmengen $SumV$ bei einem oder mehreren Schwellenwerten gemäß DVWK (1983, 1992)**
- **Sprunganalysen nach Bernier und Pettit, Teilung der Serien bei signifikantem Sprung an der Sprungstelle**
- **Ermittlung primärstatistischer Kennzahlen, insbesondere Mittelwert, Median, Variationskoeffizient, Schiefe, auf MQ bezogenes Mittel**
- **Homogenitätsuntersuchungen mittels univariater statistischer Tests**
- **Trenduntersuchungen, linear und mit Signifikanzuntersuchungen mittels t-Test, Trend-Rausch-Verhältnis und Mann-Kendall-Test**
- **Ergebnisinterpretation unter Zuhilfenahme von Informationen über Klimatrends und Veränderungen in der Wasserbewirtschaftung**

Als Arbeitsmittel diene das Rechenprogramm HyStat/NQ (IAWG 2003).

Ergebnisse - Sprunganalysen

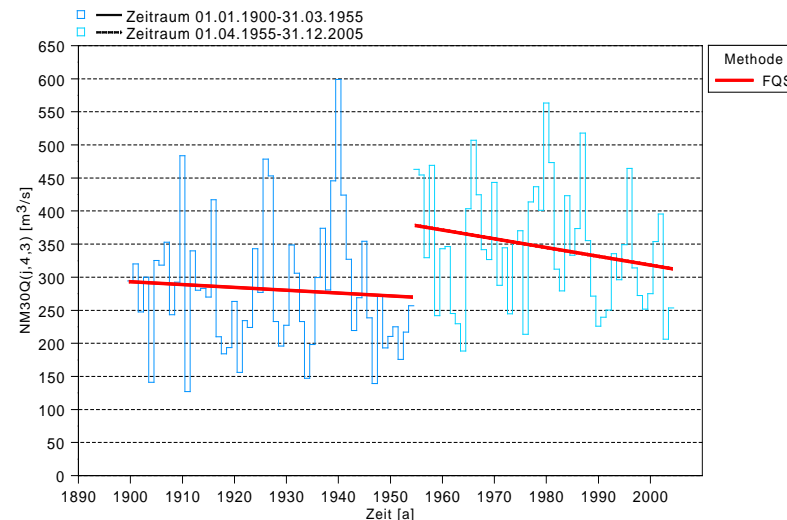
Pegel Dresden/Elbe, Vergleich von Berechnungszeiträumen
Variable NM30Q(j,4,3), Trend



HyStat/HQ-NQ BfG 1.06

IAWG 2001

Pegel Wittenberge/Elbe, Vergleich von Berechnungszeiträumen
Variable NM30Q(j,4,3), Trend



HyStat/HQ-NQ BfG 1.06

IAWG 2001

Die NMxQ und SumD der Elbepegel Dresden, Barby und Wittenberge weisen Sprünge zwischen 1953 und 1955 auf. Nach dem Sprung ist die Tendenz in den NMxQ in Dresden positiv, in Barby und Wittenberge negativ. Diese Sprünge führen zu einer Abmilderung der Niedrigwasserereignisse und fallen zeitgleich mit dem Beginn der hydrologischen Wirksamkeit der großen Talsperren der Moldaukaskade zusammen.

Ergebnisse - Sprunganalysen

Ergebnisse der Sprunganalyse für Ketzin und Rathenow

Pegel	Größe	Sprung	Differenz	Weitere Sprünge
Ketzin	NM1Q	1988	-21,1	--
	NM7Q	1981	-23,9	1988, 1991
	NM20Q	1967	-21,7	1981, 1988
	NM30Q	1967	-21,4	1981, 1988
	Sum10D	1988	22,6	--
	Sum10V	1988	0,45	1991
Rathenow	NM1Q	1988	-16,1	--
	NM7Q	1981	-16,7	1991
	NM20Q	1981	-17,7	--
	NM30Q	1981	-17,6	--
	Sum10D	1991	3,1	--

Die meisten Bruchpunkte wurden in den 1980er Jahren festgestellt. Insgesamt ergibt sich für beide Pegel das Jahr 1988 als der häufigste Bruchpunkt. Er ist fast gleichzeitig mit den Sprüngen in den Gebietsmitteln der Lufttemperatur, der Sumpfungswasserförderung und der meisten Überleitungen. Der geringere Rückgang in Rathenow kann durch die Überleitung über den Elbe-Havel-Kanal erklärt werden.

Ergebnisse - Trendanalysen

Pegel	Größe	Sprung	Dimen- sion	Vollständige Serie		Serie nach dem Sprung	
				Mittel	Anstieg/ Jahr	Mittel	Anstieg/ Jahr
Dresden	NM1Q	1954	m³/s	96,3	0,332	119	0,189
	NM7Q	1954	m³/s	106	0,331	129	0,136
	NM20Q	1954	m³/s	120	0,293	139	0,088
	NM30Q	1954	m³/s	127	0,296	145	0,121
	Sum128D	1953	d	55,8	-0,437	29	0,182
	Sum128V	1954	mm	2,54	-0,027	0,78	-0,067
Barby	NM1Q	1954	m³/s	208	0,577	228	-0,196
	NM7Q	1954	m³/s	215	0,568	236	-0,274
	NM20Q	1954	m³/s	229	0,525	249	-0,302
	NM30Q	1954	m³/s	241	0,482	259	-0,258
	Sum232D	1954	d	47,2	-0,225	33,8	0,407
	Sum232V	1953/1954	mm	1,86	-0,02	0,95	0,001
Witten- berge	NM1Q	1954	m³/s	275	0,704	308	-1,34
	NM7Q	1954	m³/s	282	0,716	316	-1,36
	NM20Q	1954	m³/s	298	0,69	331	-1,34
	NM30Q	1954/1955	m³/s	311	0,693	344	-1,32
	Sum297D	1953/54	d	43,5	-0,331	25,7	0,636
	Sum297V	1953/54	mm	1,72	-0,023	0,7	0,011

Für die drei Elbepegel sind die Trends in den NMxQ signifikant und positiv und in den SumD signifikant und negativ. Teilt man die Serien an der Sprungstelle, ergeben sich für die Teilsereien keine signifikanten Trends. Nach dem Sprung ist die Tendenz in den NMxQ in Dresden positiv, in Barby und Wittenberge negativ.

Trend und Tendenz Elbepegel

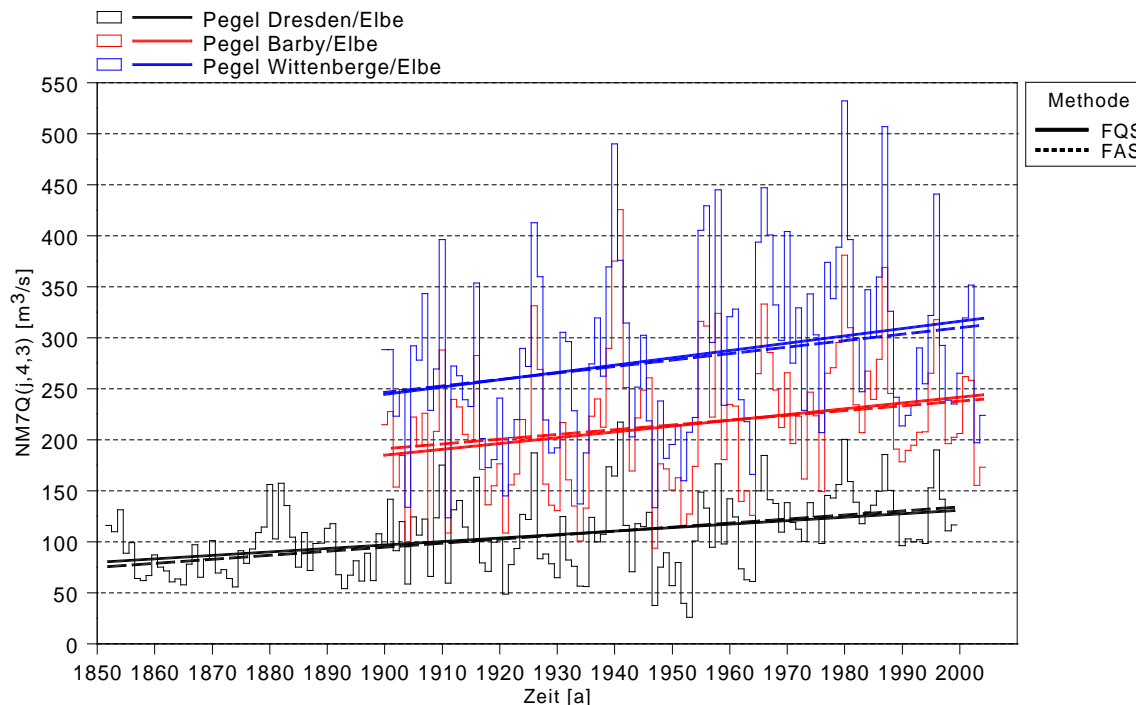
Ergebnisse - Trendanalysen

Pegel	Größe	Sprung	Dimension	vollständige Serie		Serie nach dem Sprung	
				Mittel	Anstieg/Jahr	Mittel	Anstieg/Jahr
Ketzin	NM1Q	1988	m³/s	22,5	-0,299	6,32	-0,476
	NM7Q	1981	m³/s	29,3	-0,572	13,4	-1,01
	NM20Q	1967	m³/s	33,9	-0,619	23,9	-0,881
	NM30Q	1967	m³/s	36,2	-0,609	26,3	-0,884
	Sum10D	1988	d	5,2	0,373	22,6	1,803
	Sum10V	1988	mm	0,105	0,008	0,452	0,057
Rathenow	NM1Q	1988	m³/s	21,7	-0,492	10,4	-0,23
	NM7Q	1981	m³/s	26,4	-0,558	16,8	-0,488
	NM20Q	1981	m³/s	32,2	-0,558	22	-0,537
	NM30Q	1981	m³/s	35,2	-0,538	25,1	-0,594
	Sum10D	1991	d	0,8	0,057	3,2	-0,082

Die NMxQ-Serien der Havelpegel Rathenow und Ketzin weisen auch nach dem Sprung negative Trends aus, die sogar stärker sind als die der vollständigen Serien.

Ergebnisse - Trendanalysen

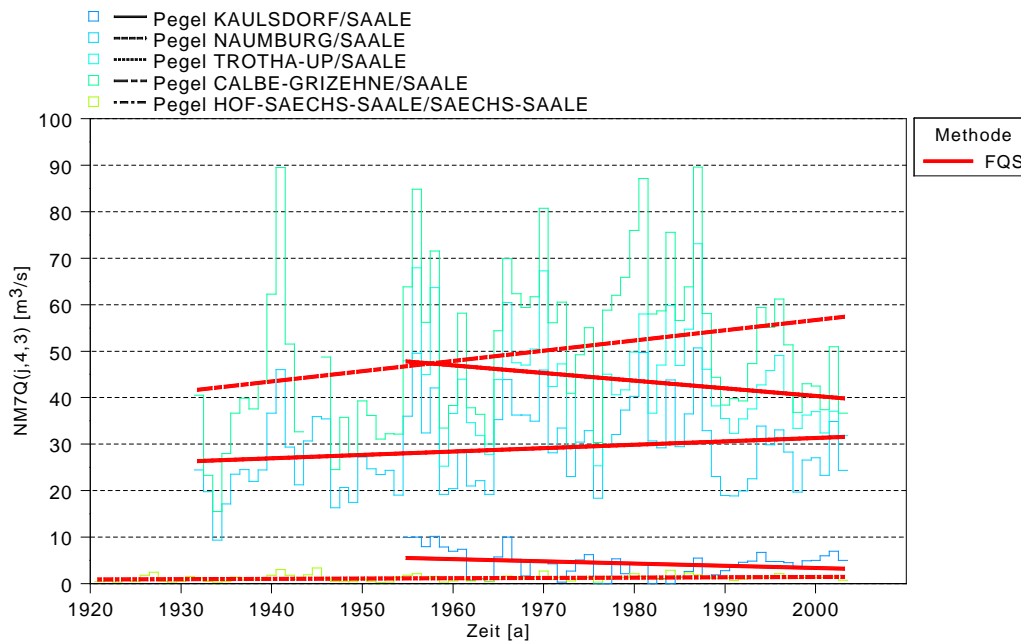
Vergleich von Messstellen
Variable NM7Q(j,4,3), Trend



Für die drei Elbepegel sind die Trends in den NMxQ signifikant und positiv, in den SumD signifikant und negativ. Teilt man die Serien an der Sprungstelle, ergeben sich für die Teilserien keine signifikanten Trends.

Ergebnisse - Trendanalysen

Vergleich von Messstellen
Variable NM7Q(j,4,3), Trend



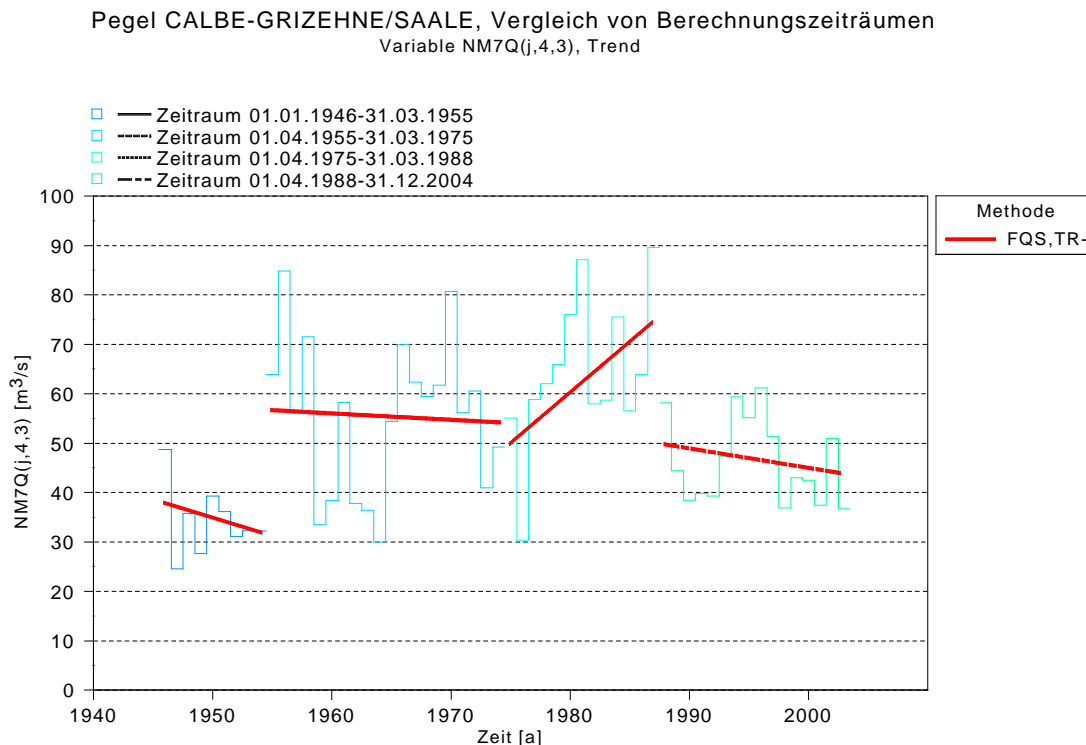
HyStat/HQ-NQ BfG 1.06

IAWG 2001

Im Saalegebiet sind die Trends der Niedrigwasserserien sehr unterschiedlich. Es überlagern sich offensichtlich viele Einflüsse wie Rückgang der Sumpfungswasserrförderung, Flutung der Braunkohlenrestseen, Rückgang der Überleitungsmengen und Entnahmen, Veränderungen der Talsperrenbewirtschaftung und des Klimas.

Trend Saalepegel, NM7Q

Ergebnisse - Trendanalysen



HyStat/HQ-NQ BfG 1.06

IAWG 2001

Trend Pegel Calbe-Grizehne, NM7Q

Die vier Sprünge finden sich auch in den Serien der Saalenebenflüsse wieder, sodass von einem Überlagerungseffekt gesprochen werden kann. Die Trends der vier Teilsereien zeigen nach Eliminierung aller Sprünge einen sehr unterschiedlichen Verlauf. Auffallend ist der negative Trend nach dem letzten Sprung 1988/1989. Der Sprung lässt sich gut durch die Flutung der Braunkohlentagebaue und den Rückgang in der Wassernutzung einschließlich der Sumpfungswassereinleitungen erklären.

Ergebnisse - Analyse meteorologischer Größen

Größe	Gebiet	Mittel	STD	Homogenität			Sprung	Trend	Tendenz
				Mittel/ Median	Vertei- lungen	Varian- zen			
Potenzielle Verdunstung	Berounka	530	36,96	(ja)	ja	ja	B: 1988	(nicht) sign.	pos.
	Obere Moldau	470	36,36	(nein)	teils/teils	ja	B,P: 1991	sign.	pos.
	Eger, untere Elbe	560	42,65	nein	nein	ja	B,P:1988	sign.	pos.
	Mulde, Elbe, Schw. Elster	620,7	49,78	nein	nein	ja	B,P:1987	sign.	pos.
	Saale	608,5	46,29	nein	nein	ja	B,P:1987	sign.	pos.
	Havel	632,7	46,32	(nein)	nein	ja	B,P:1987	sign.	pos.
	Mittl. Elbe, Elde	611,8	45,62	(nein)	teils/teils	ja	B:88, P:87	sign.	pos.
Niederschlag	Berounka	836,5	154,8	ja	teils/teils	ja	nicht sign.	nicht sign.	(pos.)
	Obere Moldau	1264	248,6	(nein)	nein	ja	B:75, P:73	sign.	pos.
	Eger, untere Elbe	626,9	110	(nein)	nein	ja	nicht sign.	sign.	pos.
	Mulde, Elbe, Schw. Elster	700,4	120	ja	teils/teils	ja	nicht sign.	nicht sign.	(neg.)
	Saale,	623,9	103,8	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	(neg.)
	Havel	564,8	90,62	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	neg.
	Mittl. Elbe, Elde	579,5	92,97	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	(neg.)

Ergebnisse - Analyse meteorologischer Größen

Größe	Gebiet	Mittel	STD	Homogenität			Sprung	Trend	Tendenz
				Mittel/ Median	Vertei- lungen	Varian- zen			
Klima- tische Wasser- bilanz	Berounka	306,5	174,4	ja	teils/teils	ja	nicht sign.	nicht sign.	(neg.)
	Obere Moldau	794	252,7	(nein)	nein	ja	B:75, P: 73	sign.	pos.
	Eger, untere Elbe	66,9	127,8	ja	teils/teils	ja	nicht sign.	nicht sign.	pos.
	Mulde, Elbe, Schw. Elster	79,7	148,5	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	neg.
	Saale	15,4	131,3	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	neg.
	Havel	-67,9	118,7	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	neg.
	Mittl. Elbe, Elde	-32,3	118,4	ja	ja	ja	nicht sign.	nicht sign.	neg.
Lufttem- peratur	Berounka	5,9	0,78	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign..	pos.
	Obere Moldau	3,3	0,73	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign.	pos.
	Eger, untere Elbe	6,7	0,84	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign.	pos.
	Mulde, Elbe, Schw. Elster	8,5	0,83	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign.	(pos.
	Saale,	8,4	0,81	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign.	pos.
	Havel	9	0,82	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign.	pos.
	Mittl. Elbe, Elde	8,7	0,82	nein	nein	ja	B, P: 1987	sign.	pos.

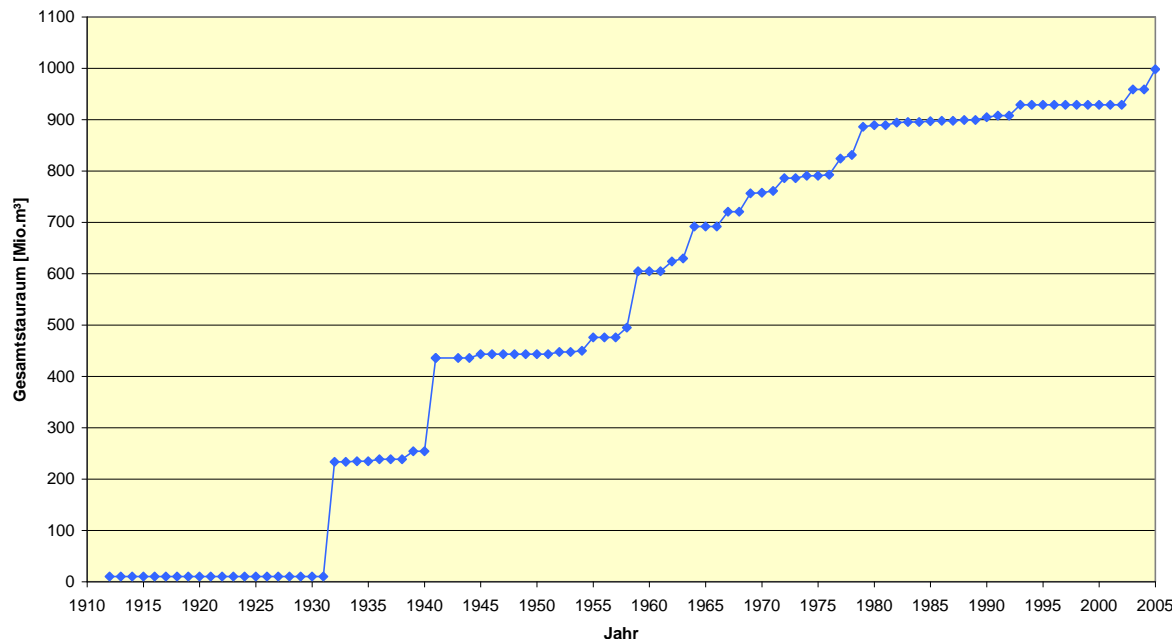
Ergebnisse - Analysen von Größen der Wasserbewirtschaftung

Pegel	Grösse	Sprung	Dimension	vollständige Serie			Serie nach dem Sprung		
				Mittel	Anstieg/Jahr	% vom Mittel	Mittel	Anstieg/Jahr	% vom Mittel
Große Tränke	NM1Q	1992	m³/s	5,36	-0,058	-1,07	2,64	-0,132	-5,01
	NM7Q	1992	m³/s	7,13	-0,066	-0,93	4,02	-0,245	-6,08
	NM20Q	1991	m³/s	8,05	-0,082	-1,02	4,75	-0,272	-5,73
	NM30Q	1991	m³/s	8,44	-0,09	-1,07	5,07	-0,278	-5,5
	Sum8D	1991	d	34	-1,712	-5,03	81,1	7,115	8,78
	Sum8V	1991	mm	1,17	0,072	6,19	2,99	0,364	12,2
Sophienwerder	NM1Q	1987	m³/s	8,38	-0,179	-2,13	4,86	-0,176	-3,62
	NM7Q	1990	m³/s	11,2	-0,193	-1,73	6,39	-0,043	-0,67
	NM20Q	1990	m³/s	13,2	-0,2	-1,52	7,86	-0,048	-0,61
	NM30Q	1990	m³/s	14,4	-0,208	-1,45	8,7	-0,055	-0,63
	Sum10D	1990	d	19,8	1,565	7,9	51,3	1,132	2,21
	Sum10V	1987	mm	0,43	0,036	8,32	0,989	-0,013	-1,27

Der Einfluss des Braunkohlenbergbaus ist z. B. entscheidend für den Pegel Große Tränke/Spree, aber nicht mehr für den Pegel Sophienwerder, da mit Zunahme des Einzugsgebietes dieser Nutzungseinfluss durch andere Nutzungen und der natürlichen Abflussbildung überlagert wird.

Ergebnisse - Analysen von Größen der Wasserbewirtschaftung

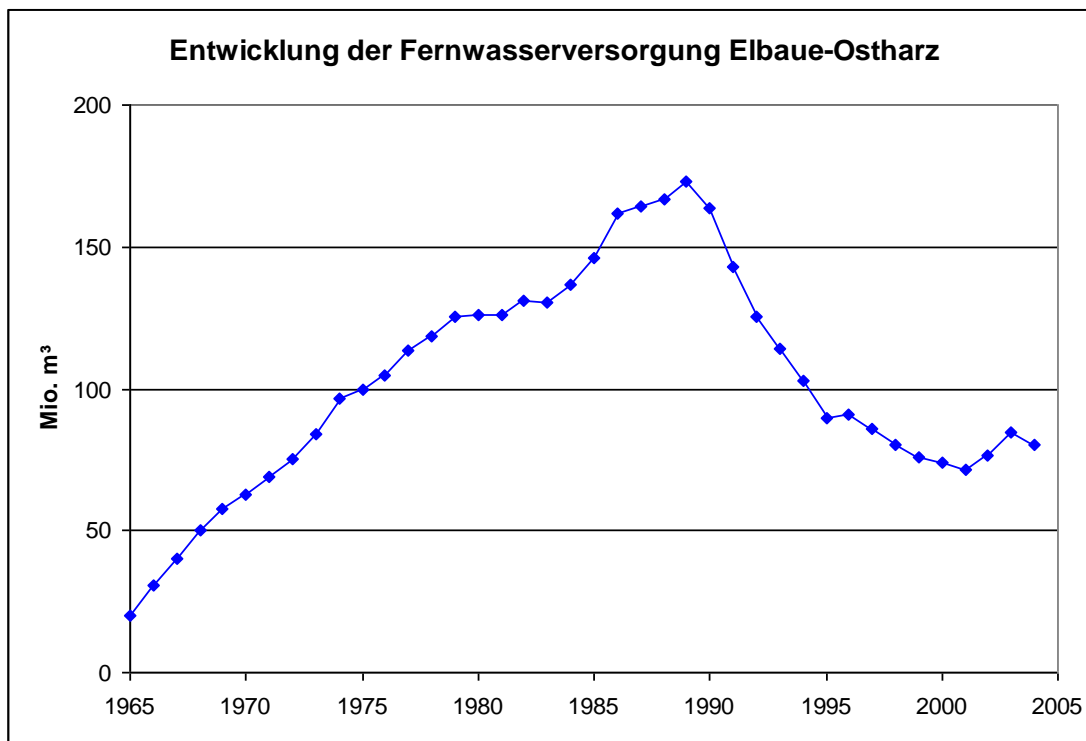
Gesamtstauraum Flussgebiet Saale



Die durch Inbetriebnahme der Saaletalsperren bedingten Sprünge 1932 und 1941 liegen vor dem Beobachtungsbeginn der meisten untersuchten Serien. Ein weiterer Sprung erfolgte Ende der 1950er Jahre.

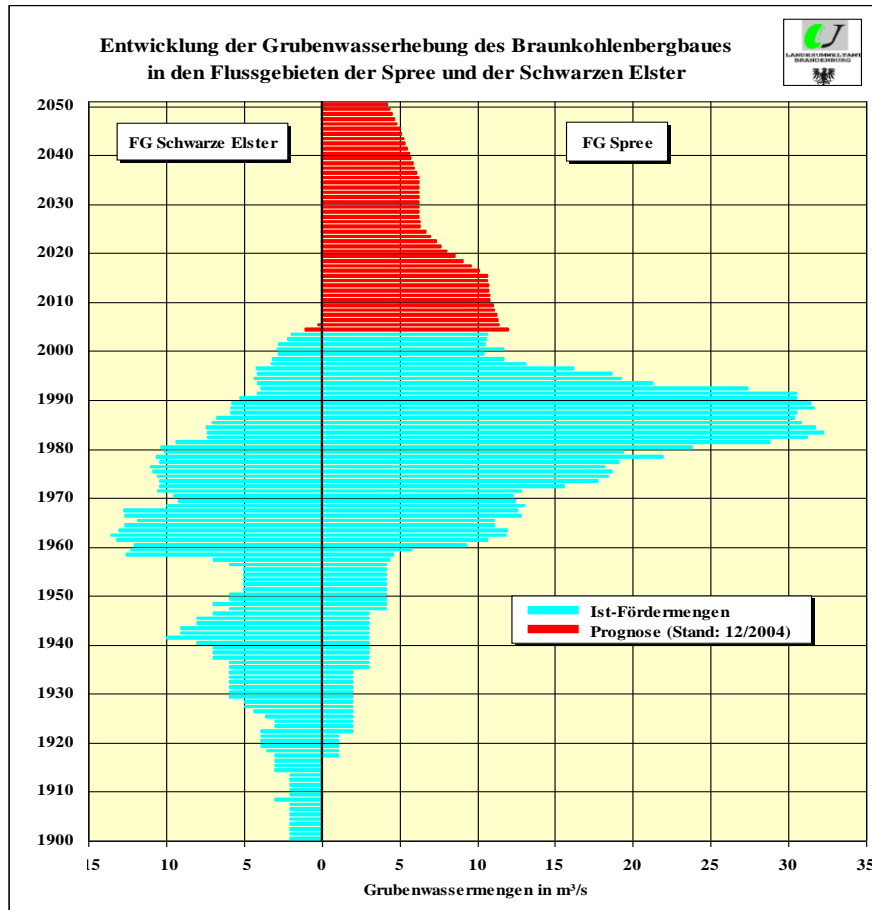
Gesamtstauraum der Talsperren und Speicher im Saalegebiet

Ergebnisse - Analysen von Größen der Wasserbewirtschaftung



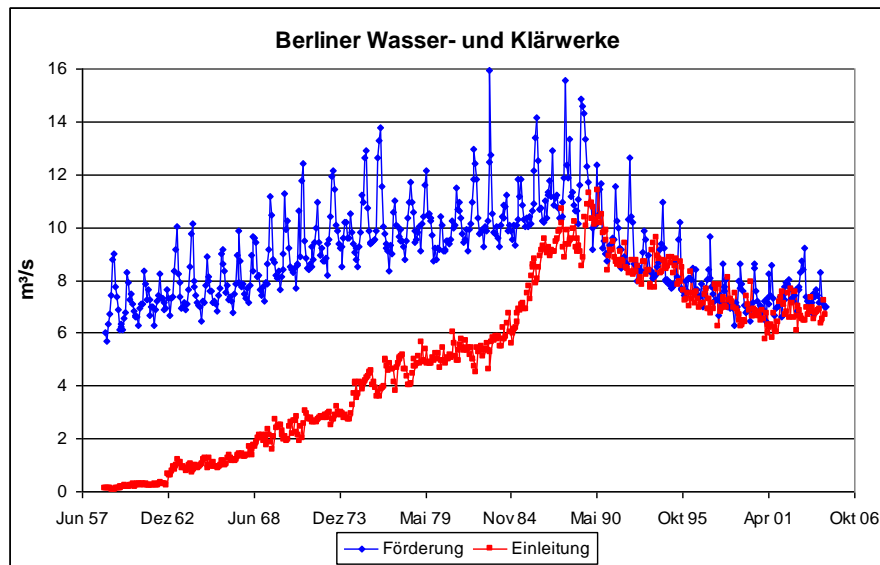
Der Wassergebrauch stieg bis 1990 stark an und verringerte sich danach durch Produktionsstilllegungen, –reduzierungen und –umstrukturierungen sowie durch reduzierte Trinkwasserabgaben der Fernwasserversorgungsgebiete.

Ergebnisse - Analysen von Größen der Wasserbewirtschaftung



Die Analyse der Jahreswerte der Grubenwassereinleitungen ergab mehrere signifikante Sprünge. Mit dem Jahr 1988 begann der Rückgang der Grubenwassermengen und damit bereits vor der politischen Wende. Der Sprung 1994/1995 ist der Wendepunkt zu einer Abmilderung des Rückgangs. 2003 wurden noch über 10 m³/s Grubenwasser gehoben. Allerdings ist die anthropogene Aufhöhung des Spreedurchflusses geringer, da ein Teil des Grubenwassers im Absenkungstrichter wieder versickert.

Ergebnisse - Analysen von Größen der Wasserbewirtschaftung



Entwicklung der Rohwasserentnahmen durch die Wasserwerke und die Einleitungen durch die Klärwerke der Berliner Wasserbetriebe von 1959 bis 2005

Deutlich sind Veränderungen in der Tendenz zu erkennen. Die Rohwasserförderung stieg bis 1989 stetig an. Danach verringerte sich der Wasserbedarf von Industrie und Bevölkerung nach der politischen Wende stark. Der Höhepunkt der Klärwerkseinleitungen wurde 1990 erreicht. Danach gingen die Einleitungen analog zur Rohwasserförderung zurück.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens von meteorologischen und Wasserbewirtschaftungsgrößen sowie von Niedrigwasserkenngößen ergab unterschiedliche Entwicklungen im Elbegebiet:

- Allgemein sind die Verhältnisse in den letzten 50 Jahren in Flachlandteilgebieten trockener, in einigen Teilgebieten in Tschechien feuchter geworden.
- Zusammen mit der Niedrigwasseraufhöhung durch große Talsperren führt das zu einer Abmilderung der Niedrigwässer in der Elbe.
- Dagegen führen sowohl klimatische Änderungen als auch der Rückgang des Braunkohlentagebaus und von Überleitungsmengen zu einer Verschärfung der Niedrigwassersituation in der Havel und Saale.

Danke für Ihre
Aufmerksamkeit