

Das Niedrigwasser 2003 in Deutschlands Stromgebieten

JÖRG UWE BELZ, HEINZ ENGEL, PETER KRAHE

Das Jahr 2003 ging mit zahlreichen Hitzerekorden in die mitteleuropäische Witterungsgeschichte ein. Seine Folgen waren allerdings nicht allein über Wochen hinweg gut gefüllte Schwimmbäder und ausgedehnte Grillparties in der Nachbarschaft – viele Bereiche des täglichen Lebens und der Volkswirtschaft litten unter Hitze und Wassermangel. Dies galt insbesondere auch für die Wasserwirtschaft und die Binnenschifffahrt. Die Abladetiefen in den Wasserstrassen wurden drastisch verringert, auf einigen Flüssen mußte der Frachtverkehr



**Schmale Fahrrinne, geringe Abladetiefe – Begegnungsverkehr auf dem Rhein
bei Bonn im Sommer 2003**

abschnittsweise sogar eingestellt werden (Elbe). Vereinzelt kam es zu Schiffshavarien in den verengten und dichter befahrenen Fahrrinnen.

Die nachfolgende Analyse des Niedrigwassers in Deutschland erfolgt anhand der Aufzeichnungen repräsentativer Pegelstationen der großen Einzugsgebiete. Berücksichtigt wurden in diesem Zusammenhang Hofkirchen (Donau), Maxau (Rhein), Köln (Rhein), Dresden (Elbe), Neu Darchau (Elbe), Hohensaaten-Finow (Oder), Intschede (Weser) und Versen (Ems). Hierzu verwertbare Pegeldata lagen zumeist nur bis Ende November 2003 vor, im Falle der Station Hofkirchen sogar nur bis zum 31.10.2003. Zu diesem Zeitpunkt war allerdings die Niedrigwassersituation in den meisten Flußgebieten noch nicht endgültig beendet; teilweise überdauerte sie sogar bis in den Januar hinein (Bodenseegebiet). Zudem

konnten für den Zeitraum ab Frühjahr 2003 zumeist nur plausibilisierte (noch ungeprüfte) Rohdaten verwendet werden, was allerdings aus Aktualitätsgründen gerechtfertigt erscheint.

Die Lage in den Einzugsgebieten

Nach einem wasserreichen Vorjahr, kulminierend in den schweren Hochwassern im Elbe- und Donaugebiet im August 2002, war der Sommer 2003 außergewöhnlich trocken. Von



Die Elbe in Dresden im August 2002 (links) und im August 2003 (rechts)

Mitte Juni bis Ende September waren an allen deutschen Gewässern kontinuierliche Abnahmen der Durchflüsse zu verzeichnen. An freifließenden Gewässern sanken die Wasserstände auf Minimalwerte.

Meteorologische Ursachen

Das hydrologische Jahr 2003 (November 2002 bis Oktober 2003) begann entsprechend der generellen Witterungstendenz des Jahres 2002 (**Abb. 1**) mit einem zu nassen November. (vgl. **Abb. 2**). Nach normalen bis etwas zu nassen Monaten Dezember und Januar entwickelte sich

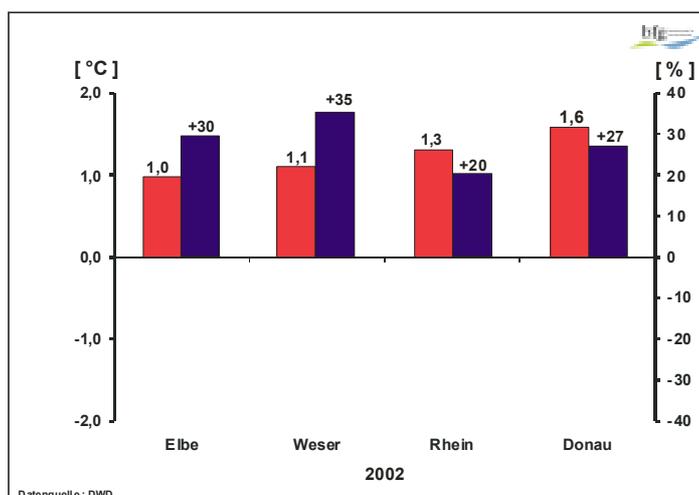


Abb. 1: Abweichung von Jahresmittel und –summe 2002 der Lufttemperatur (rot) und Gebietsniederschlagshöhe (blau) vom Mittel 1961/90 nach Einzugsgebieten

mit Ausnahme Nordwestdeutschlands, das allein häufiger von atlantischen Tiefausläufern gestreift wurde, verbreitet bereits im Februar eine meteorologische Trockenperiode, die erst wieder im Oktober 2003 mit überdurchschnittlichen Niederschlägen ein Ende fand. Die Mo-

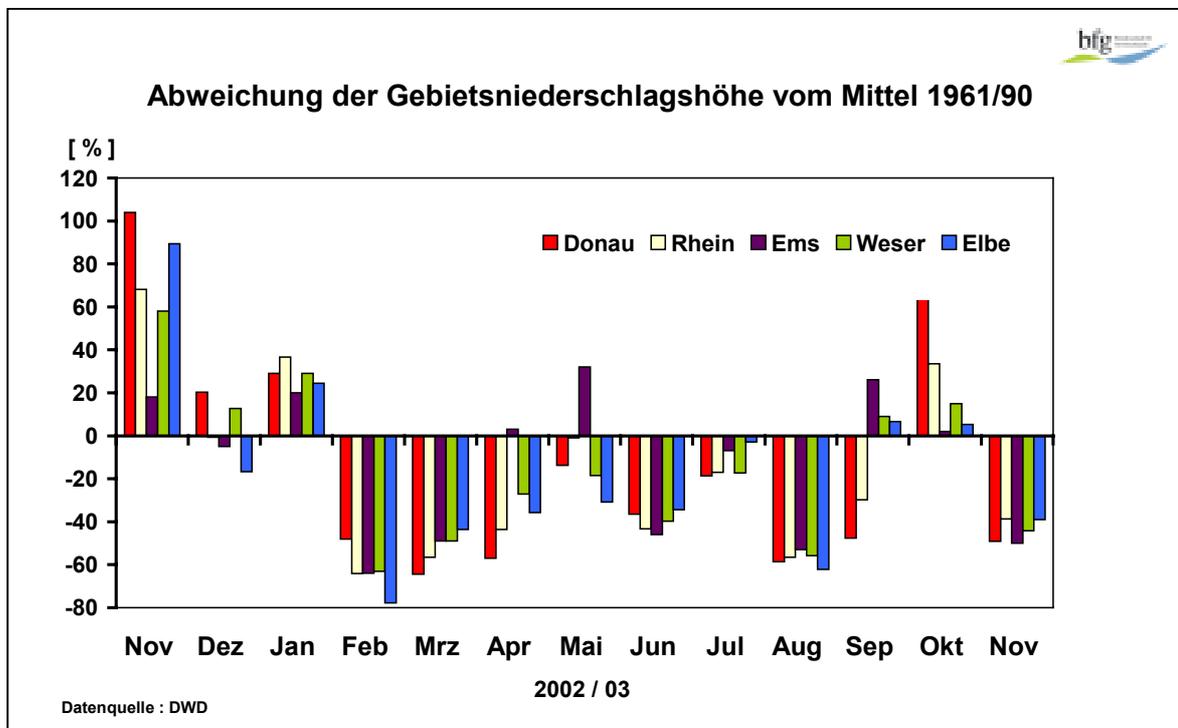


Abb. 2: Abweichung der Monatssummen der Gebietsniederschlagshöhe in den deutschen Flußeinzugsgebieten in 2002/2003 vom Mittel der Jahre 1961-1990

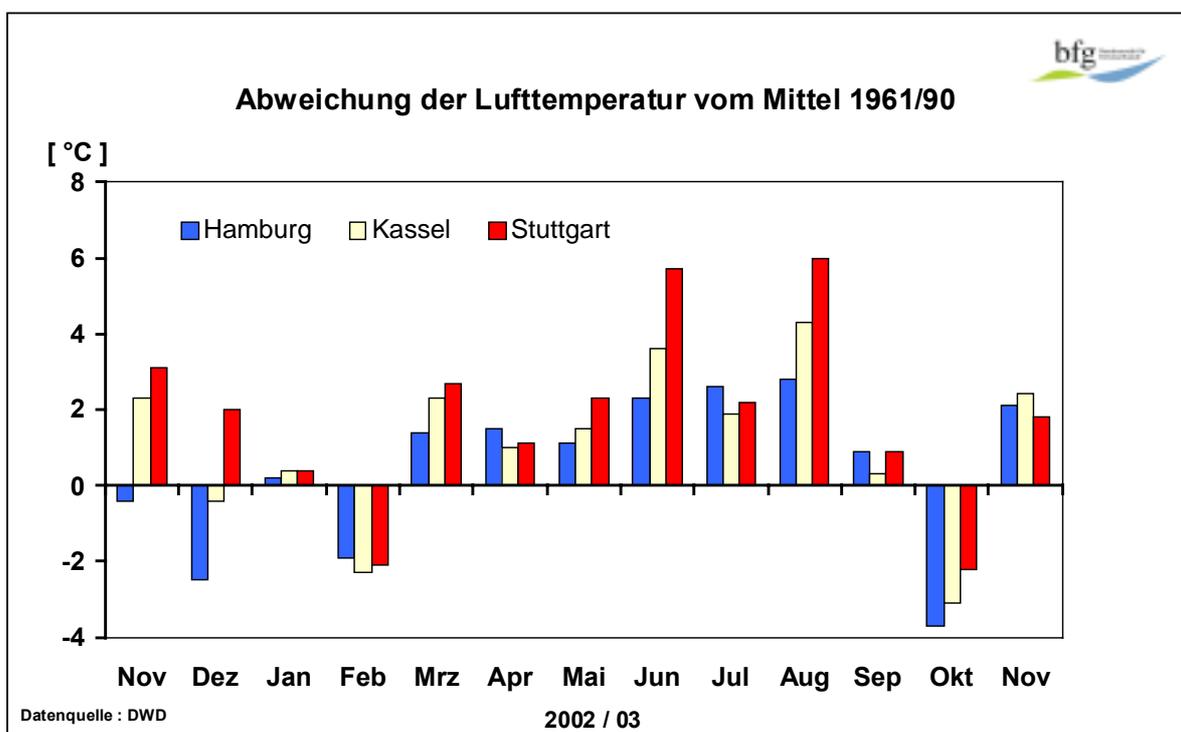


Abb. 3: Abweichung der Monatsmittel der Lufttemperatur in 2002/2003 von den Mitteln in den Jahren 1961-1990 für ausgewählte Stationen

nate mit den größten Niederschlagsdefiziten waren der Februar, der März und der August. Die Trockenperiode war überwiegend mit deutlich höheren Temperaturen verbunden (vgl. **Abb. 3**). Die extremsten positiven Temperaturabweichungen traten in Süddeutschland auf, z. B. an der Station Stuttgart mit monatlichen Anomalien von bis zu + 6° C.

Zur klimatologischen Einordnung des aktuellen Witterungsgeschehens wurden Monats-, Halbjahres- und Jahreszeitensummen der Gebietsniederschlagshöhe des Kalender- bzw. Abflussjahres 2003 im Vergleich zu den entsprechenden Werten der langen Reihe für den Zeitraum 1901 bis 2003 analysiert. Die Gebietsniederschlagshöhen wurden auf der Datengrundlage der vom DWD bereitgestellten Rasterwerte ermittelt. In **Abb. 4** sind die Jahressummen der Abflussjahre für die Zeitreihe 1902/2003 sowie das 5% und 95%-Perzentil wiedergegeben. Dargestellt sind somit im Bereich zwischen diesen beiden Perzentilschranken 90% aller Jahressummenwerte des Niederschlags der Zeitreihe, außerhalb liegen nur die niedrigsten und höchsten Extreme. Die Jahre, in denen das 5%-Perzentil von 577 mm unterschritten wurde, sind 1921, 1934, 1947, 1949, 1959 und 1976. Das Abflussjahr 2003 zählt mit 651 mm (vorläufiger Wert) somit zwar zu den trockeneren, nicht aber zu den absolut trockensten Jahren der Untersuchungsreihe.

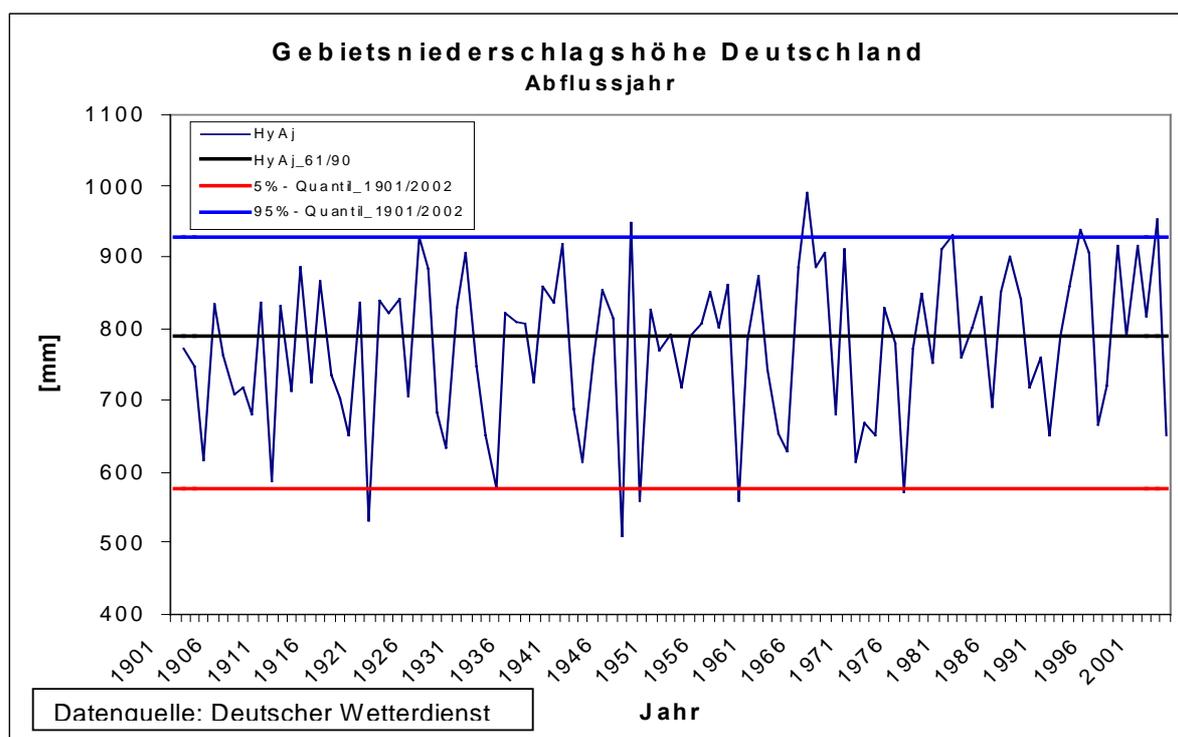


Abb. 4: Jahressummen der Gebietsniederschlagshöhen für die Zeitreihe 1902-2003

Abflussentwicklung

Die detaillierte Abflussentwicklung des Jahres 2003 – entsprechend der eingangs erwähnten Datenverfügbarkeit bis Ende November (Hofkirchen: nur bis 31.10.) – ist den Gangliniendarstellungen der **Abb. 5a-5h** zu entnehmen. Zu Vergleichszwecken gleichzeitig dargestellt ist in den Diagrammen zudem der Verlauf der ebenfalls sehr extremen Niedrigwasserjahre 1947 und 1976.

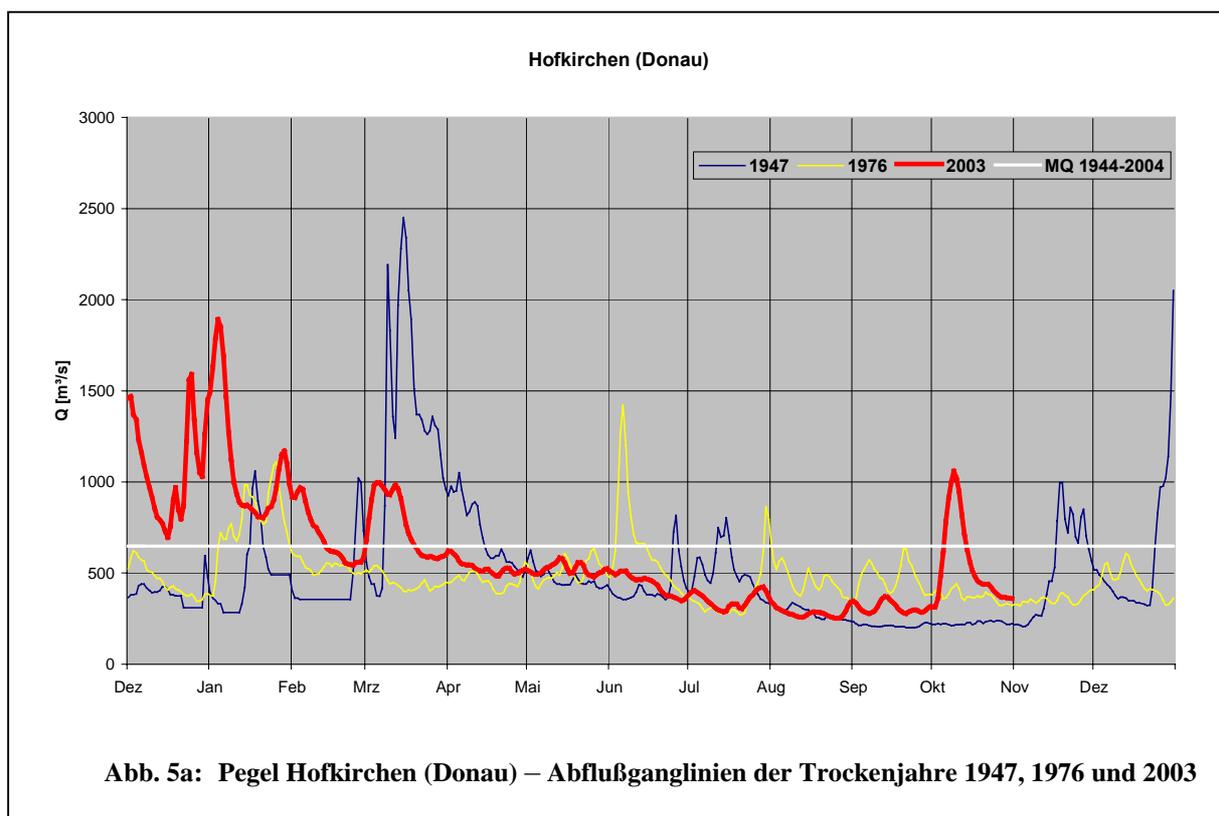
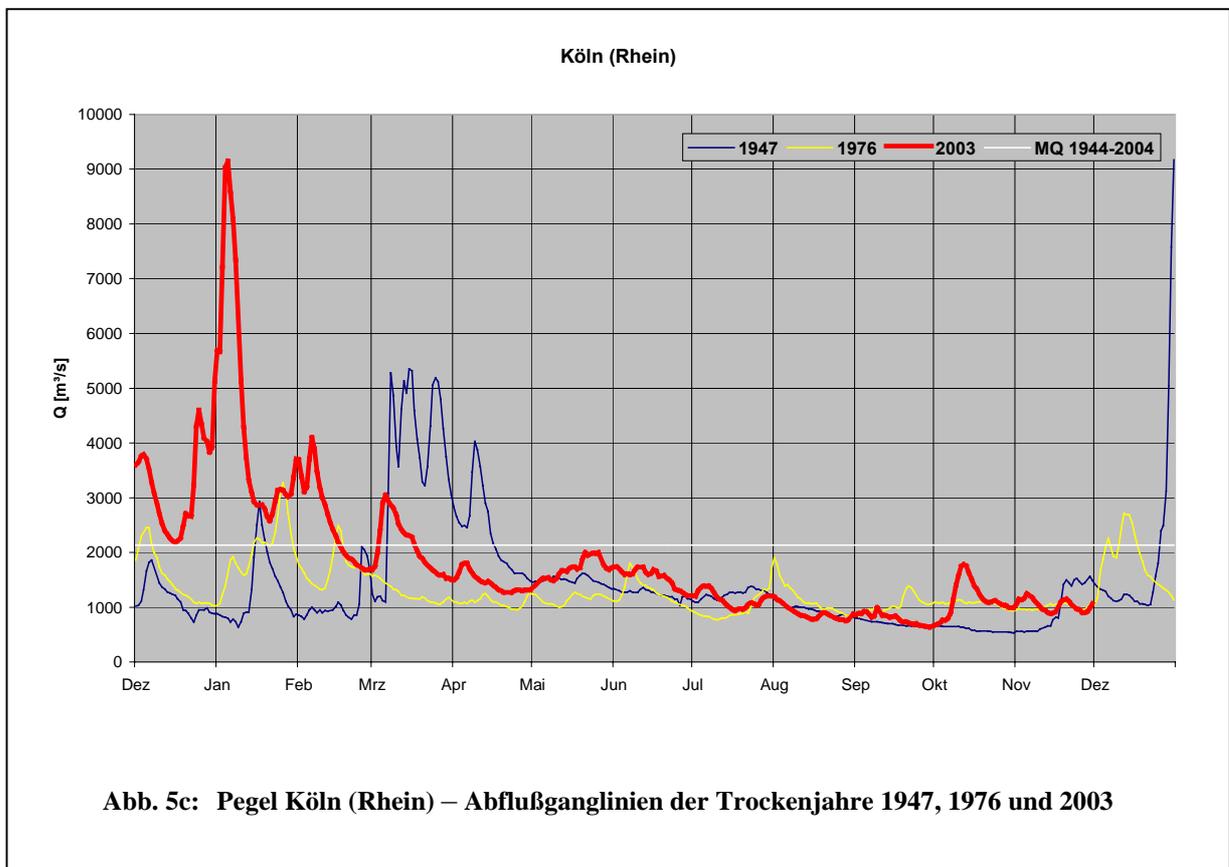
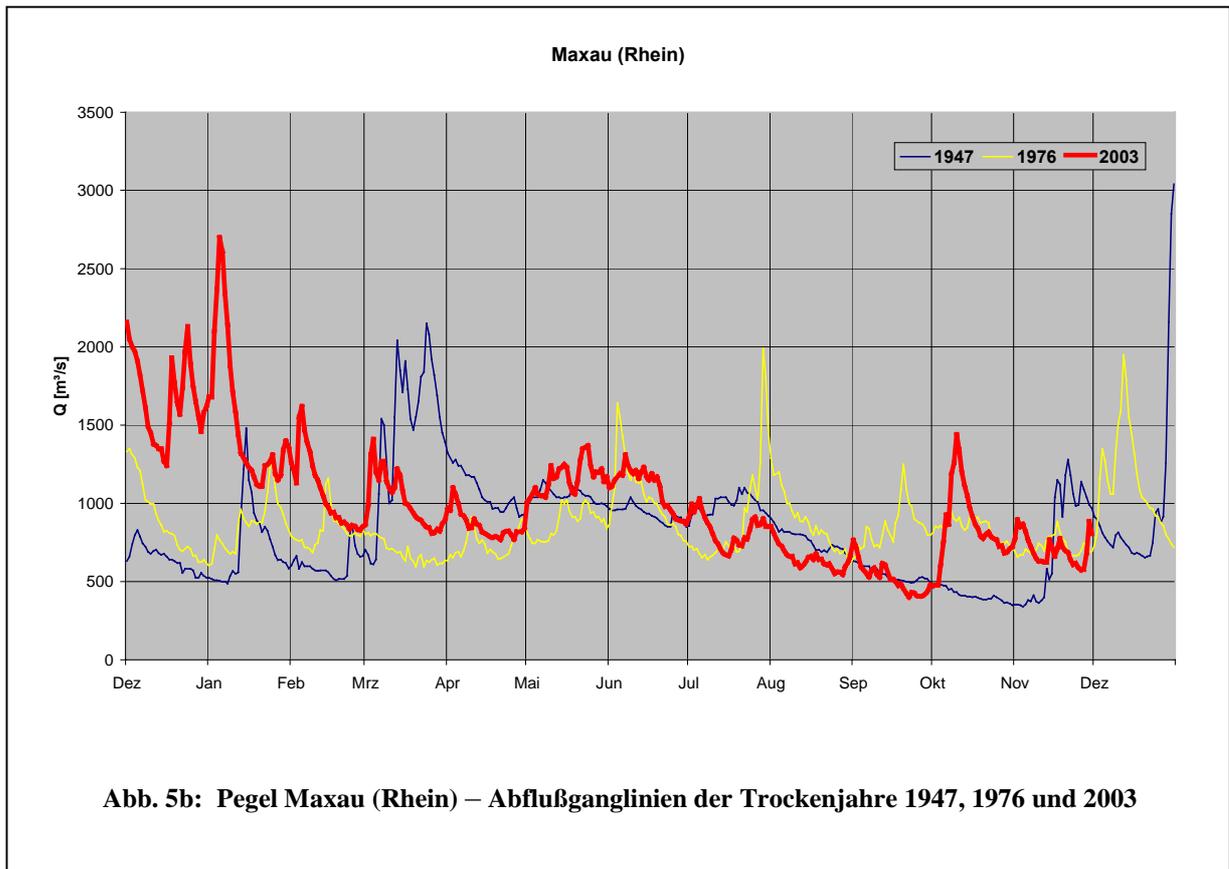
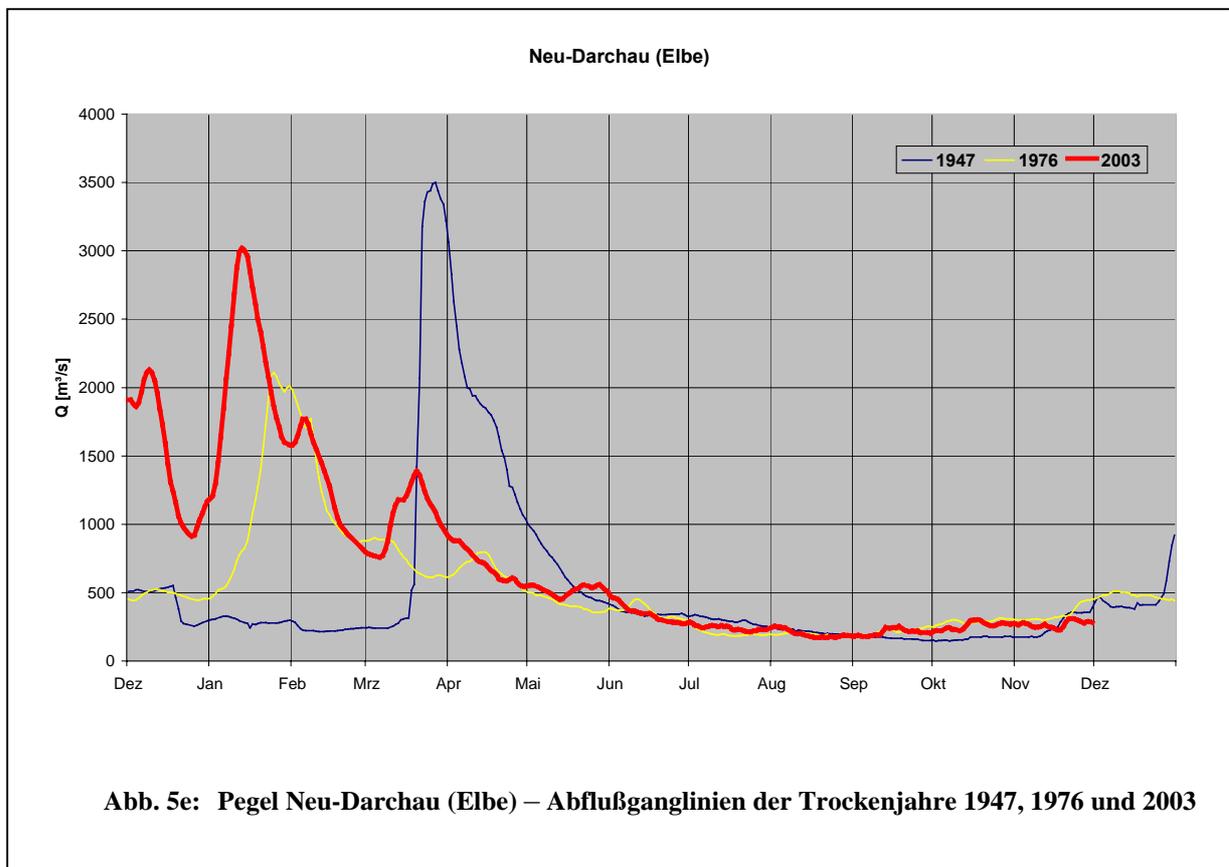
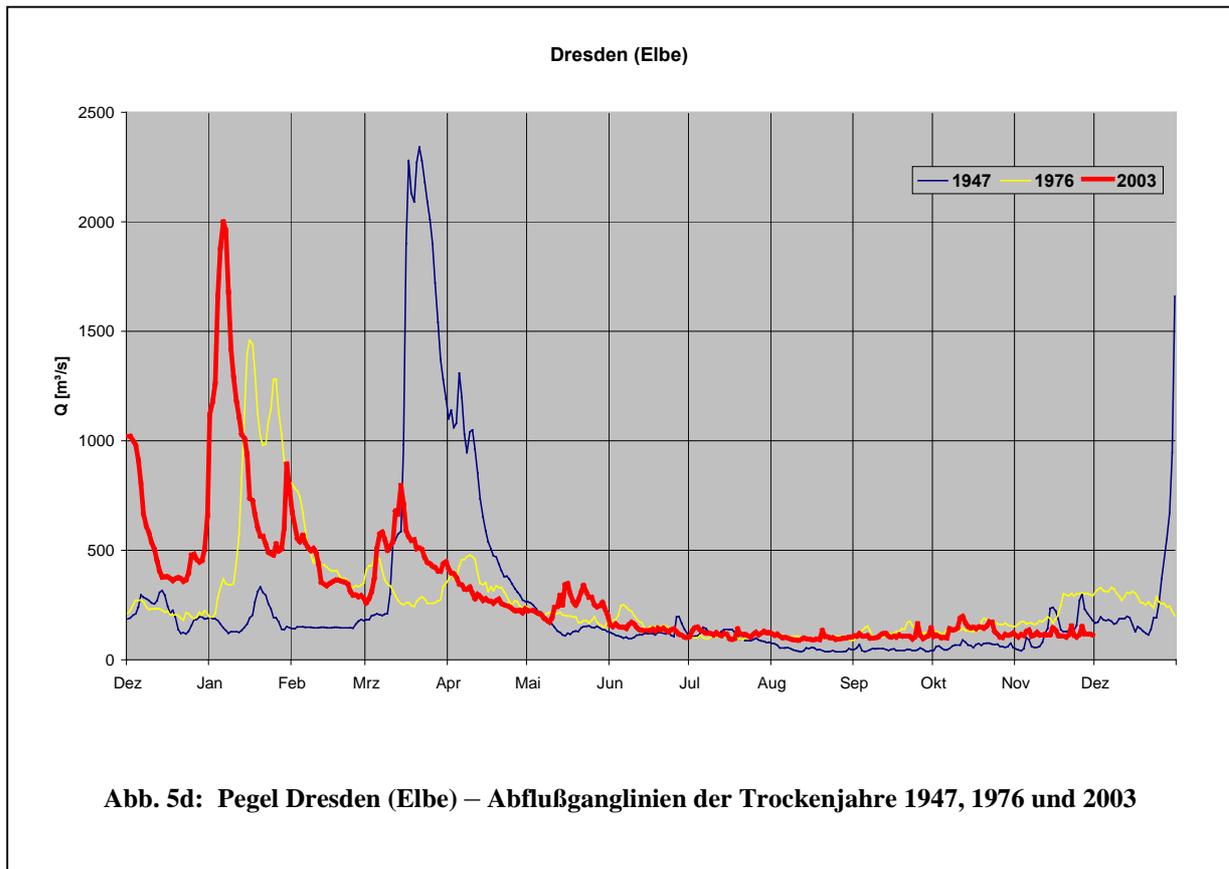


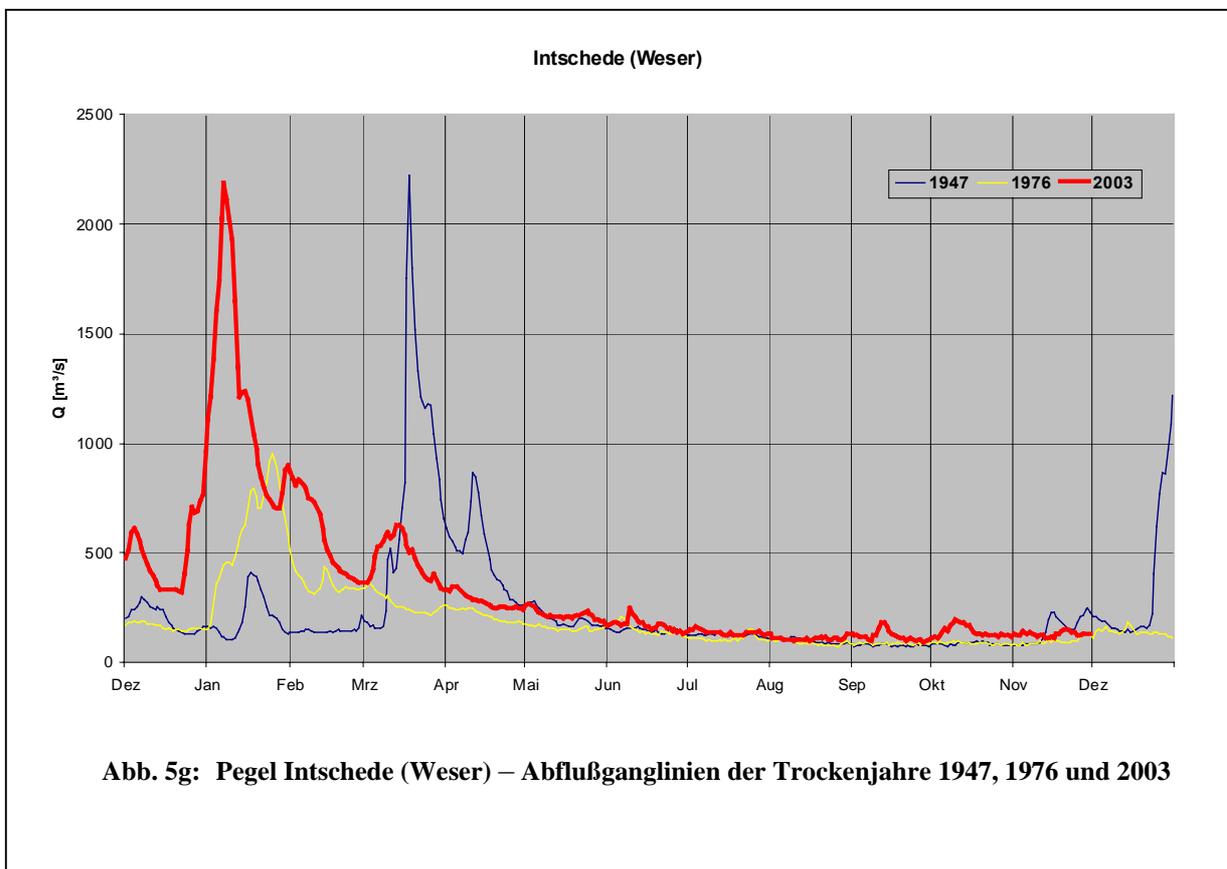
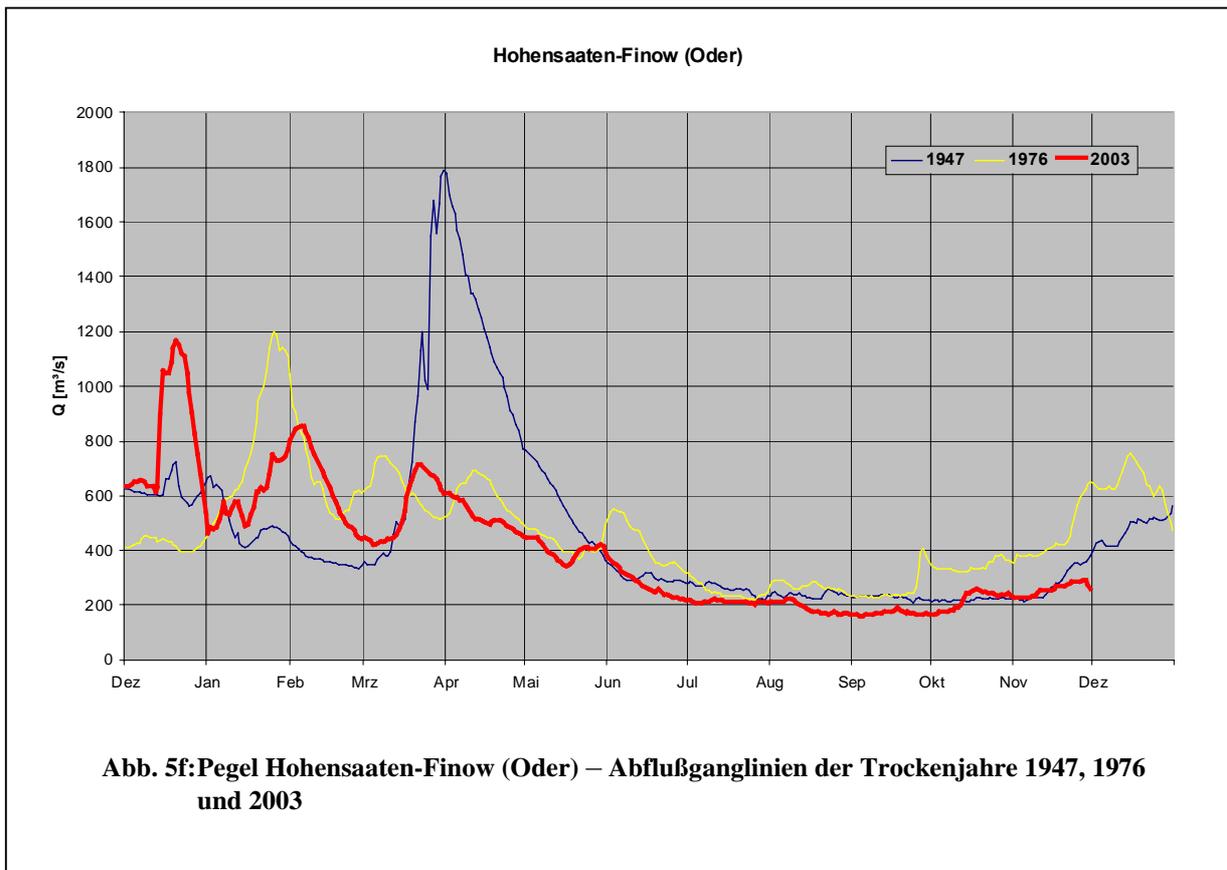
Abb. 5a: Pegel Hofkirchen (Donau) – Abflußganglinien der Trockenjahre 1947, 1976 und 2003

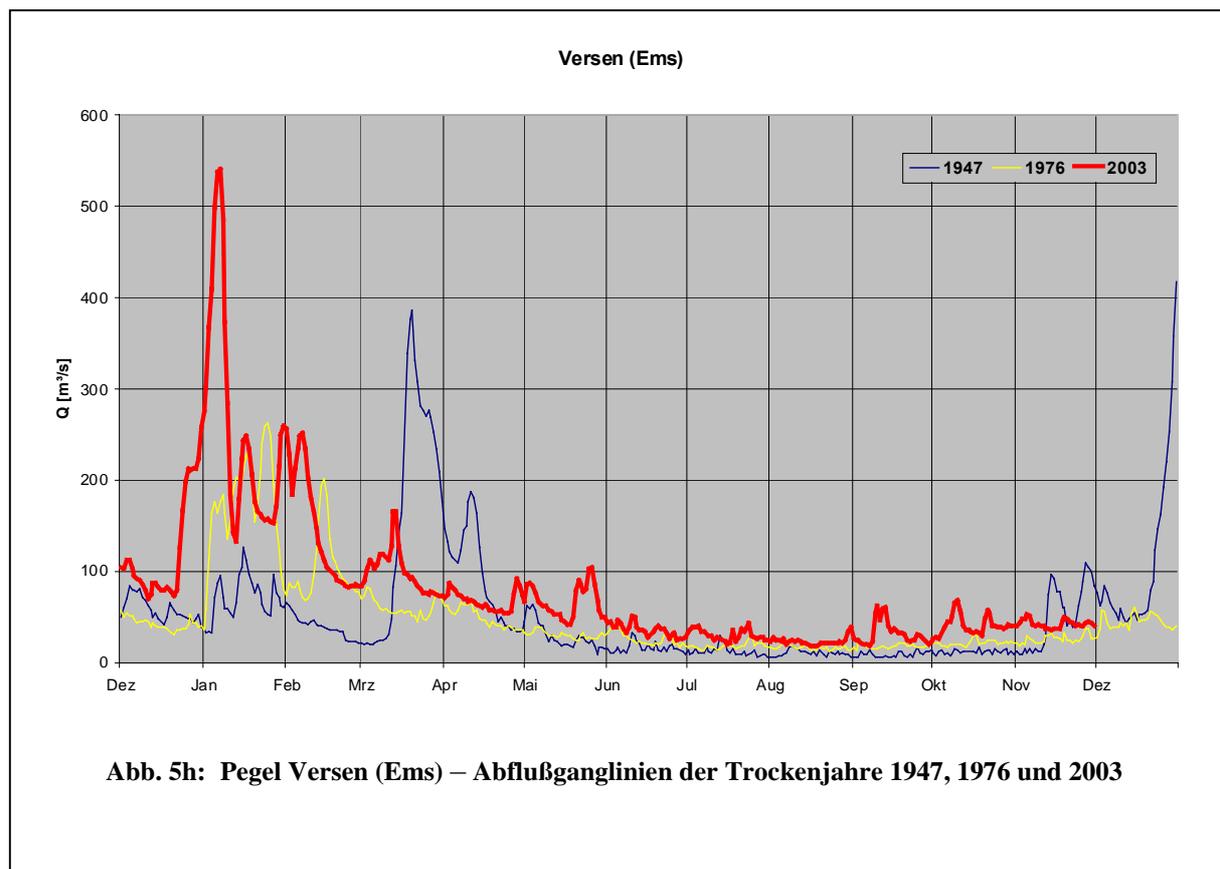
Die Ganglinien für 2003 zeigen spätestens ab Ende Mai kontinuierlich fallende Werte. Die Minima der Abflüsse lagen durchweg in den Monaten August und September. Dabei wurden vereinzelt absolute Niedrigstwerte verzeichnet; zum Beispiel waren die Abflüsse am Oberrhein bis zur Mainmündung im September geringer, als die bisher niedrigsten registrierten Septemberabflüsse (vgl. Pegel Maxau / **Abb. 5b** und **Tab. 1**).

Die Parallelität der Ganglinien des abgelaufenen Jahres mit denen anderer extremer Trockenjahre des vergangenen Jahrhunderts, hier 1947 und 1976, ist auffällig, dies insbesondere in den Monaten Mai/Juni und August (vgl. **Abb. 5a-5h**). Es sind in 2003 viele Niedrigwasserextreme registriert worden und dies nur 12 Monate nach dem außergewöhnlichen Hochwasser im Elbegebiet. Nie Dagewesenes ist allerdings – mit wenigen Ausnahmen, s.o. – nicht eingetreten. So wird in der Historie sowohl von katastrophaleren Trockenjahren berichtet als auch sogar von enger Aufeinanderfolge extremer Hoch- und Niedrigwasser. Ein besonders drastisches Beispiel gibt das Jahr 1947. Damals folgte am Rhein auf extremste Niedrigwasserstände im Oktober und Anfang November bereits zum Jahreswechsel ein bedeutendes Hochwasser, das in seinem außerordentlich schnellen bzw. steilen Anstieg einmalig war (**Abb. 5c**).









Tab. 1 zeigt die Stellung des Niedrigwasser-Extremjahres 2003 im Vergleich zu 1947 und 1976 in Zahlen. In der Spalte "NQ" ist das absolute Eintagesminimum der 60jährigen Referenzperiode (1944-2003) vermerkt, das allerdings nicht selten durch Einzelereignisse

Tab. 1: Vergleich der Niedrigwasserereignisse 1947, 1976 und 2003

Station	NQ [m³/s]	MNQ [m³/s]	NM7Q [m³/s]		
	1944-2003	1944-2003	1947	1976	2003
Hofkirchen (Donau)	193	316	202	285	259
Maxau (Rhein)	340	616	352	663	415
Köln (Rhein)	530	960	546	796	659
Dresden (Elbe)	22,5	111	37,6	98,4	93,7
Neu Darchau (Elbe)	145	286	149	186	174
Hohensaaten-Finow (Oder)	135	262	216	224	163
Intschede (Weser)	59,7	125	72,9	75,7	99,2
Versen (Ems)	5,2	16,2	6,13	15,1	19,7

oder Meßungenauigkeiten verfälscht ist. Seine Angabe soll deshalb hier erkennen lassen, welche Extremsituationen überhaupt an einem bestimmten Pegel aufgetreten sind. "MNQ" als arithmetisches Mittel aller jährlichen NQ-Werte über die Untersuchungsperiode 1944-

2003 ist demgegenüber eine verlässlichere Bezugsgröße. Bei Berücksichtigung des MNQ als Schwellenwert und Abgleich mit den NM7Q-Ergebnissen zeigen alle bearbeiteten Stationsreihen im Jahre 2003 eine mehr oder weniger deutliche Unterschreitung. Lediglich am Pegel Versen liegen die niedrigsten Abflüsse über MNQ; im Emsgebiet ist mithin in diesem Jahr keine bedeutendere Niedrigwassersituation entstanden. Hier spiegelt sich die bereits erwähnte und in **Abb. 2** belegte Sonderrolle des Emsgebietes wieder, wo letztlich auch keine besonderen Niederschlagsdefizite auftraten.

Nach den Niedrigstniveaus in den Monaten August/September fiel der Oktober 2003 überdurchschnittlich niederschlagsreich aus, dies allerdings mit merklichem Südwest-Nordost-Gefälle. Die Regenfälle wurden auf dem durch monatelange Austrocknung quasi-versiegelten Boden sehr unmittelbar abflußwirksam, so daß sich die Abflüsse allenthalben kurzfristig erholten. Im Bereich der Donau und am Oberrhein überschritten sie mit Zunahmeraten zwischen 200 und 300 % immerhin MQ. Entsprechend der dort geringeren Niederschläge fielen die Abflußzunahmen im Elbe- und Odergebiet mäßiger aus.

Erneute, großräumig auftretende deutliche Niederschlagsdefizite im November verhinderten allerdings eine nachhaltige Stützung der Abflüsse; mit Ausnahme der Oder stellte sich verbreitet wieder fallende Abflußtendenz ein.

Zur Einordnung des Niedrigwassers 2003

Die weiterführende statistische Analyse erfolgte gemäß DVWK-Regelwerk 120/121. Verwendet wurden die Kenngrößen

- **NM7Q**: das niedrigste arithmetische Mittel des Abflusses an sieben aufeinanderfolgenden Tagen – ein zuverlässiger, gegenüber Singularitäten robuster Abflußparameter,
- **NM21Q**: gegenüber NM7Q längerfristig ansetzender Dreiwochenzeitraum, gleichzeitig als Niedrigwasserkenngröße sehr ähnlich dem für Schifffahrtsbelange wichtigen GIW, und
- **sumD**: Summe der Unterschreitungsdauern eines bestimmten Schwellenwertes Q_s in Tagen zur Untersuchung der Dauercharakteristika einer Niedrigwassersituation (Hinweis: Die Analyse des Parameters sumD hat angesichts des noch unvollständigen Datenmaterials (vgl. S. 1) derzeit vorläufigen Charakter).

Um Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde als Bezugszeitspanne einheitlich die 60-Jahres-Reihe 1944 – 2003 gewählt.

Die **Tab. 2** zeigt die Ergebnisse der Wahrscheinlichkeitsanalyse für das Auftreten einer Niedrigwassersituation des Umfangs von 2003, ausgedrückt in Jährlichkeiten (d.h. es wird die mittlere Zeitspanne T_n (in Jahren) angegeben, innerhalb derer der betreffende Abflußwert einmal erreicht oder unterschritten bzw. der betreffende Tagessummen-Wert einmal erreicht oder überschritten wird).

Am Pegel Versen/Ems ist keine Extremsituation aufgetreten. An der Donau und an der Weser handelte es sich in 2003 um Niedrigwasserereignisse, die statisch gesehen nicht sehr selten auftreten (T_n zwischen 4 und 8). Dies ist neben der grundsätzlich maßgeblichen Niederschlagscharakteristik v.a. vor dem Hintergrund zu interpretieren, daß es sich hier um zwei Gewässer bzw. Gewässerabschnitte handelt, die beide ausgesprochen grundwasserreiche Einzugsgebiete entwässern (nord- bzw. nordwestdeutsches Tiefland, niederbayerisches Tiefland). Im Falle der Donau ist zudem zu berücksichtigen, daß sie im Sommer vom Schmelzwasserzufluß von den Alpen her profitiert, so daß ein Niederschlagsdefizit besser abgepuffert werden kann.

Tab. 2: Wahrscheinlichkeitsanalyse des Niedrigwassers 2003

Pegel	MNQ	NM7Q		NM21Q		sumD (Qs=MNQ)	
	1944-2003	m³/s (2003)	Tn (Bezug 1944-2003)	m³/s (2003)	Tn (Bezug 1944-2003)	Tagesanzahl (2003)	Tn (Bezug 1944-2003)
Hofkirchen (Donau)	316	259	8	269	8	55	7
Maxau (Rhein)	616	415	19	466	12	46	5*
Köln (Rhein)	960	659	18	716	13	72	9
Dresden (Elbe)	111	93,7	4	97,8	5	73	8
Neu Darchau (Elbe)	286	174	14	180	20	149	50*
Hohensaaten-Finow (Oder)	262	163	29	167	31	156	26*
Intschede (Weser)	125	99,2	6	105	5	85	6
Versen (Ems)	16,2	19,7	-	21,5	-	0	-

**kursiv*: schlechte Anpassung der Verteilungsfunktion

Deutlich extremer war die Situation am Rhein. Dies drückt sich allerdings weniger in der mituntersuchten Summe der Unterschreitungstage aus: Hier ist davon auszugehen, daß sich die kurzzeitig wirksamen Konvektionsniederschläge (Schauer, Gewitter) in der Statistik bemerkbar machen, die wegen des durch die Trockenheit versiegelten Bodens nicht grundwasserwirksam wurden, fast unmittelbar dem Gebietsabfluß zugute kamen und diesen wiederholt kurzzeitig leicht über den angesetzten Schwellenwert MNQ (=Q_s) hoben. Bei Betrachtung der Höhe des Abflusses liegen die Jährlichkeiten für NM21Q auf mittlerem (T_n 12 bzw. 13) und NM7Q sogar auf mittelhohem Niveau (T_n 18 bzw. 19). Ursache ist das deutlich pluvial geprägte Abflußregime des Rheins an den Pegeln Maxau und Köln. Das Einzugsgebiet ist beherrscht von Mittelgebirgslandschaften mit wenig leistungsfähigen Grundwasser-Speicherkapazitäten, entsprechend ungepuffert wirkt sich ein Niederschlagsdefizit aus.

Die besonders ausgeprägte Trockenheit im Osten Deutschlands betraf Einzugsgebiete, welche aus Mittelgebirgsregionen gespeist werden. Es gibt keinen Schmelzwasser-Einfluß im Frühsommer; es handelt sich um pluviale, unmittelbar niederschlagsabhängige Abflußregimes.

Im deutschen Oberlauf der Elbe kann davon ausgegangen werden, daß sich die im südlichen Einzugsgebiet gelegenen Stauseen, die an Zahl und Speicherkapazität in der zweiten Hälfte des 60jährigen Untersuchungszeitraums deutlich zugelegt haben und vermöge des Katastrophenhochwassers 2002 sehr gut gefüllt waren, abflußstützend ausgewirkt haben. Entsprechend ergeben sich eher unspektakuläre Jährlichkeiten T_n zwischen 4 und 8. Dieser ausgleichende Einfluß fehlt elbabwärts (Pegel Neu Darchau) sowie im Einzugsgebiet der Oder (Pegel Hohensaaten-Finow) mit der Folge mittelhoher, bzgl. der Anzahl der Defizittage sogar sehr hoher Jährlichkeiten.

Die Betrachtung der langfristigen Entwicklung der jährlichen NM7Q- und NM21Q-Werte über den 60jährigen Zeitraum 1944-2003 zeigt durchweg einen Anstieg der Niedrig-

Tab. 3: Trendanalyse, Periode 1944-2003

Station	Kenngröße	Tendenz +: steigend - : fallend	Trend-Signifikanz (α 0,05)	
			Mann-Kendall	t-Test
Hofkirchen (Donau)	NM7Q	+	nein	ja
	NM21Q	+	nein	ja
Maxau (Rhein)	NM7Q	+	ja	ja
	NM21Q	+	ja	ja
Köln (Rhein)	NM7Q	+	nein	ja
	NM21Q	+	ja	ja
Dresden (Elbe)	NM7Q	+	ja	ja
	NM21Q	+	ja	ja
Neu Darchau (Elbe)	NM7Q	+	nein	nein
	NM21Q	+	nein	nein
Hohensaaten-Finow (Oder)	NM7Q	+	nein	nein
	NM21Q	+	nein	nein
Intschede (Weser)	NM7Q	+	nein	nein
	NM21Q	+	nein	nein
Versen (Ems)	NM7Q	+	ja	ja
	NM21Q	+	ja	ja

wasserabflüsse, d.h. in früheren Jahren traten extremere, abflußärmere Niedrigwassersituationen als in neuerer Zeit auf.

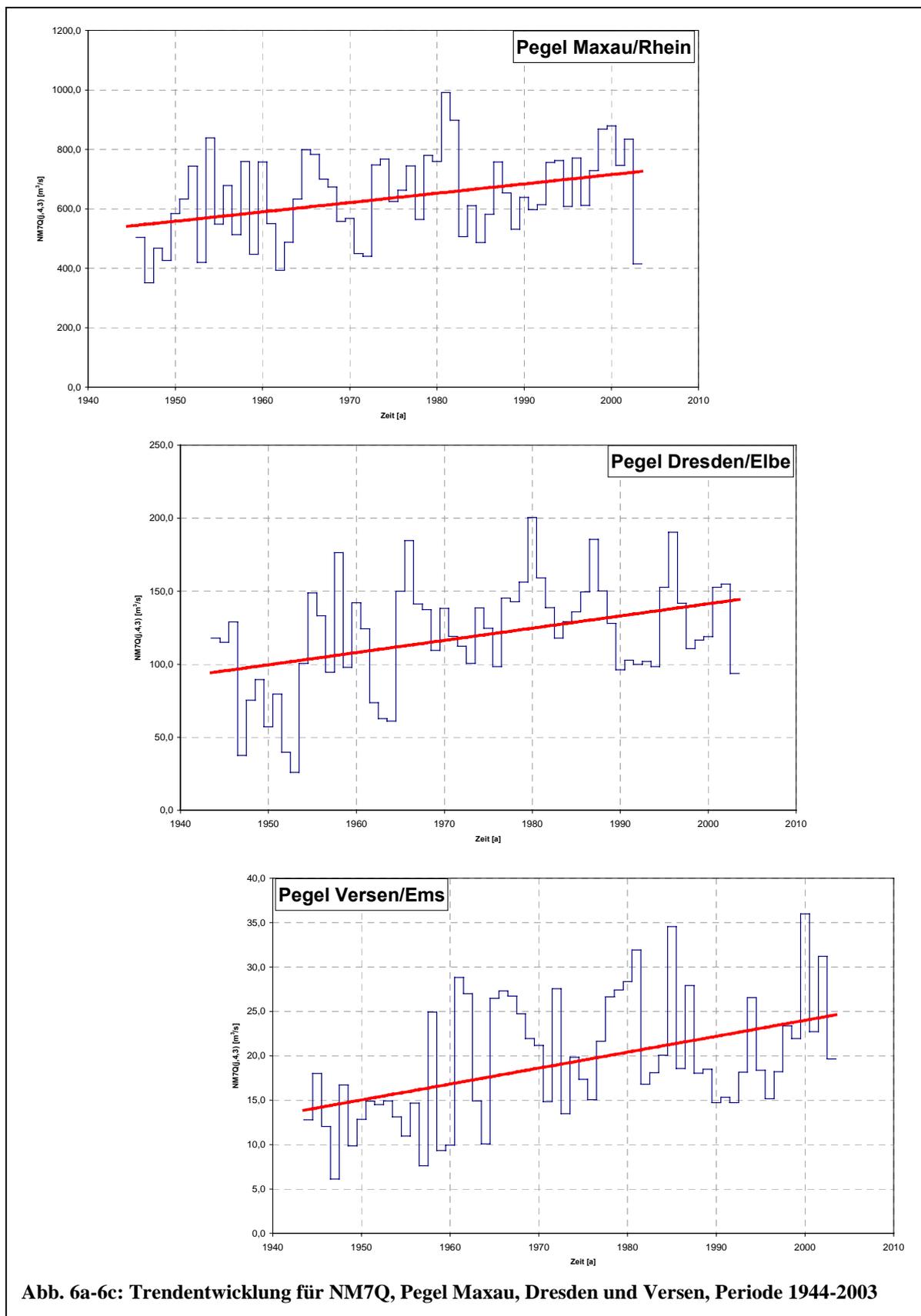


Abb. 6a-6c: Trendentwicklung für NM7Q, Pegel Maxau, Dresden und Versen, Periode 1944-2003

Trotz des jüngsten Niedrigwasserereignisses ist also eine Verringerung des Niedrigwasserrisikos insgesamt zu belegen (vgl. **Tab. 3**).

Die Trendanalyse ergibt für Dresden (hier vermutlich unter anderem korrespondierend mit dem o.g. Talsperrenbau), Maxau und Versen stets sowohl durch t-Test als auch Mann-Kendall-Test abgesicherte Signifikanz dieser Trendverläufe bei NM7Q und NM21Q, für den Rhein bei Köln nur hinsichtlich NM21Q. Beispielhaft zeigen die **Abb. 6a-6c** die Entwicklung der NM7Q zu höheren Werten an den Pegeln Maxau, Dresden und Versen.

Wasserstände

Eingangs sei darauf hingewiesen, daß Pegel (als Maßstäbe für die Erfassung von Wasserständen in Gewässern) so festgelegt sind, daß sich alle Meßwerte größer Null und möglichst kleiner als 1000 cm ergeben. Pegelstände (=Wasserstände) sind damit kein unmittelbares Maß für die Wassertiefen. Für ausgewählte Meßstellen sind in **Tab. 4** die niedrigsten in diesem Jahr erreichten Pegelstände den zugehörigen Wassertiefen in den Fahrrinnen gegenüber gestellt.

Tab. 4: Vergleich Pegelstände (W) und Fahrrinntiefe

Ort	Pegelstand [cm am Pegel]	Wassertiefe [cm]
Worms	15	160
Kaub	35	145
Koblenz	29	159
Köln	81	186
Düsseldorf	41	186

Eine längerfristig angelegte statistische Untersuchung des Wasserstands (W) macht, im Unterschied zur Meßgröße Q (Ab- bzw. Durchfluß), aufgrund der hohen Variabilität von W in Abhängigkeit von vorliegenden Querprofileigenschaften im allgemeinen wenig Sinn. Insofern sei an dieser Stelle lediglich auf einige exemplarische Ereignisse hingewiesen: So ist im Trockenjahr 2003 in Düsseldorf (Rhein) mit 41 cm a. P. der bisher niedrigst gemessene Wasserstand (76 cm a. P.) um 35 cm unterschritten worden. Im Bereich Köln / Düsseldorf lag der aktuelle Durchfluß allerdings immer noch bei ca. 640 m³/s, was 21% mehr ist als der dort niedrigste gemessene Durchfluß. In Köln sind der kleinste gemessene Durchfluß (530 m³/s) und der zweitkleinste gemessene Wasserstand (84 cm) im Herbst 1947 eingetreten. In Düsseldorf ist der kleinste Durchfluß ebenfalls im Herbst 1947 registriert, jedoch wegen erheblicher Erosion in diesem Bereich der bisher kleinste Wasserstand im Herbst 1991.

Der charakteristische Jahresgang des Wasserstands im Bodensee ist gekennzeichnet durch ein Minimum im Winter bzw. zeitigen Frühjahr und ein Maximum im Sommer. Das Niedrigwasser tritt stets im Winter auf und ist die Folge der Fixierung von Niederschlagswasser als Eis und Schnee in dem überwiegend hochgelegenen Einzugsgebiet des Sees; das regelmäßig auftretende Hochwasser im Sommer resultiert aus dem Abschmelzen des zuvor gefrorenen Wassers.

Ausgehend von ungewöhnlich hohem Wasserstand zum Ende des Vorjahres verlief die Wasserstandsentwicklung im Bodensee im Jahre 2003 nun bis zum Frühjahr in durchaus typischer Weise, jedoch erreichte bereits das Sommermaximum nicht die gewohnte Höhe. Von diesem mäßigen Höchstniveau aus ist der Wasserspiegel ab Mitte Juni nahezu

kontinuierlich gefallen (vgl. **Abb. 7**). Am 23.09.03 wurde in Konstanz mit 264 cm am Pegel der vieljährige mittlere Niedrigwasserstand um 19 cm unterschritten. Dieser Wert liegt 13 cm unter dem niedrigsten bisher (seit 1902) gemessenen Wasserstand für den Monat September. Da Niedrigwasser im Bodensee – wie beschrieben – eine Erscheinung des Winters ist, gekoppelt an das Ausbleiben flüssiger Niederschläge im Hochgebirge, liegt dieser sommerliche Wasserstand immer noch 27 cm über dem bisher niedrigsten registrierten Wert (NNW).

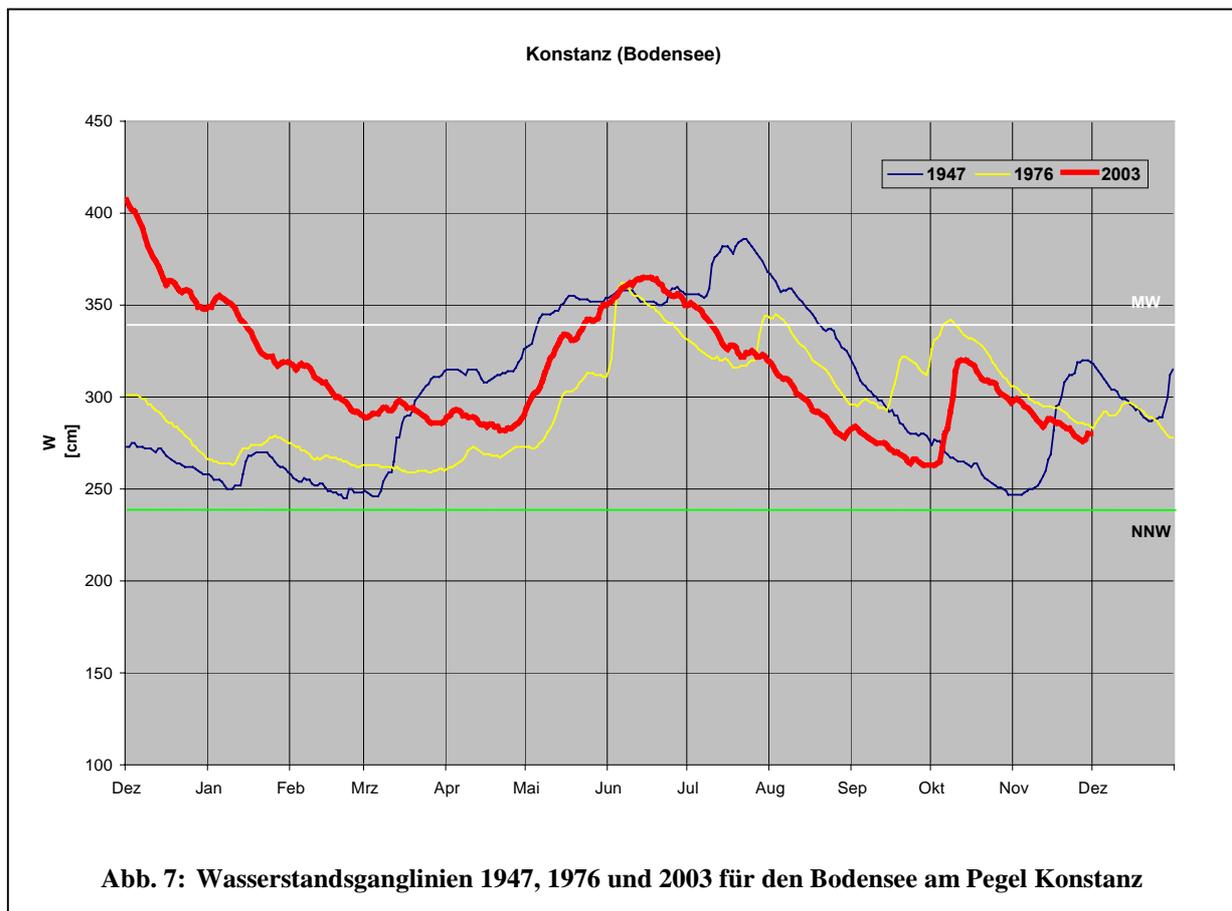


Abb. 7: Wasserstandsganglinien 1947, 1976 und 2003 für den Bodensee am Pegel Konstanz

Zusammenfassung und Ausblick

Die Niedrigwassersituation 2003 entwickelte sich aufgrund des äußerst niederschlagsreichen Vorjahres vor dem Hintergrund gut gefüllter Grund- und Oberflächenwasserspeicher. In 2003 gab es bundesweit eine über acht Monate ununterbrochen andauernde Periode mit unterdurchschnittlichen Gebietsniederschlagshöhen in den großen Stromgebieten Deutschlands mit Ausnahme des Emsgebietes. Die Fließgewässer an den untersuchten Pegeln zeichneten diese Niederschlagsdefizite mit entsprechend niedrigen Wasserständen und Abflüssen nach. Absolute Niedrigwasser-Extremwerte wurden allerdings kaum erreicht.

Die Langfristuntersuchung zeigt überdies, daß in allen Einzugsgebieten des Bundesgebietes die Tendenz zu einer Abmilderung der Niedrigwasserextreme (d.h. Anstieg der niedrigen Abflüsse in den vergangenen 60 Jahren) besteht, dies z.T. sogar als gesicherter Trend.

Wegen der bei Grund- und Oberflächenwasser nach dem Trockenjahr 2003 stark geschwundenen Speicherreserven besteht bei Ausbleiben einer längeren Folge besonders niederschlagsreicher Monate im kommenden Spätwinter und Frühjahr ein erhöhtes Risiko erneuter Niedrigwasser-Extreme im Jahre 2004.

Literatur

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hrsg.): Niedrigwasseranalyse. Teil 1: Statistische Analyse des Niedrigwasserabflusses. DVWK-Regeln zu Wasserwirtschaft, Bonn 1983

Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hrsg.): Niedrigwasseranalyse. Teil 2: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflußdefizits von Niedrigwasserabflüssen. DVWK-Regeln zu Wasserwirtschaft, Bonn 1992

Finke, W. et al.: Untersuchungen zum Abflußregime der Elbe. BfG-Bericht Nr. 1228. Berlin 1999.