Zusammenfassender Text zu den Aufgaben  
der Expertengruppe „Hydrologie“ (Hy)  
der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE)  
im Zusammenhang mit der Vorbereitung der Bearbeitung des Themas Wasserknappheit  
im aktualisierten Bewirtschaftungsplan für den Zeitraum 2022 – 2027  
(Stand: 07.02.2018)

# Aufgabenstellung

Bei der Vorbereitung auf den dritten Bewirtschaftungszeitraum (2022 – 2027) gemäß Wasserrahmenrichtlinie ist zu entscheiden, ob und ggf. wie die Problematik Wasserknappheit im internationalen Bewirtschaftungsplan zu bearbeiten ist. Daher ist es notwendig, diese Problematik unter den Bedingungen der internationalen Flussgebietseinheit Elbe zu beschreiben und zu analysieren.

Dieses Ziel soll mithilfe eines mehrstufigen Verfahrens erreicht werden. Die Expertengruppe „Hydrologie“ wurde in der Beratung der Delegationsleiter der IKSE im Mai 2016 gebeten, in einem ersten Schritt bis Ende 2017 folgende Aufgaben zu bearbeiten:

1. Quantifizierung des Ausmaßes der Wasserknappheit mithilfe geeigneter Indikatoren. Dabei sind die natürlichen (hydrologische Trockenheit) und anthropogenen (Gewässernutzungen) Ursachen von Wasserknappheit oder deren Kombination zu berücksichtigen.
2. Austausch zwischen den Experten beider Seiten zu den Erkenntnissen, in welchem Maße bereits ein Wasserknappheitsproblem besteht, wo es gegenwärtig von Bedeutung ist, wie es in Erscheinung tritt und welche Teile der internationalen Flussgebietseinheit Elbe es betrifft, und zwar auch unter Berücksichtigung der zu erwartenden Folgen des Klimawandels. Dabei sind die grundlegenden Merkmale der internationalen Flussgebietseinheit Elbe unter dem Aspekt Dargebot (unter Einbeziehung des mengenmäßigen Zustands der Grundwasserkörper), Wassernutzungen und deren Intensität, Trends und die Auswertung der Niedrigwassersituation 2015 im Einzugsgebiet der Elbe in Betracht zu ziehen.
3. Bei der Bearbeitung der unter Punkt 1 und 2 aufgeführten Aufgaben sind die Ergebnisse nationaler und internationaler Forschungsprojekte zu berücksichtigen.

# AUFGABE 1: Indikatoren für die Bewertung von Niedrigwasser[[1]](#footnote-1)

## Bewertung der Abflüsse in den Gewässern

### Stammdaten und gewässerkundliche Hauptwerte

Für eine erste Beurteilung der Werte und Dauerzahlen der Niedrigwasserabflüsse im Laufe eines hydrologischen Jahres können mehrjährige Abflusskenngrößen verwendet werden. Dafür eignen sich z. B.:

* der mittlere Abfluss (*MQ*)  
  das aus der Reihe der mittleren Tagesabflüsse für den jeweiligen Zeitraum errechnete arithmetische Mittel
* der mittlere Niedrigwasserabfluss (*MNQ*)  
  das arithmetische Mittel der niedrigsten Tagesabflüsse der Einzeljahre für den jeweiligen Zeitraum
* der mittlere Tagesabfluss, der im jeweiligen Zeitraum im Mittel an 10 Tagen im Jahr unterschritten wird (*Q10*)
* der mittlere Tagesabfluss, der im jeweiligen Zeitraum im Mittel an höchstens 1 Tag im Jahr unterschritten wird (*Q1*)
* das kleinste arithmetische Mittel der Abflüsse an 7 aufeinander folgenden Tagen des jeweiligen Zeitraums (*Min. NM7Q*)

Diese Kenngrößen sind an ausgewählten Pegeln der Elbe und ihrer Nebenflüsse für den Bezugszeitraum 1961 – 2005 erarbeitet worden[[2]](#footnote-2).

In der folgenden Tabelle 2-1 sind am Beispiel des Niedrigwassers im Jahr 2015 die Ergebnisse des Vergleichs der mittleren Tagesabflüsse mit den oben aufgeführten Schwellenwerten dargestellt. Aus den Ergebnissen ist zu erkennen, dass sich die Abflüsse an der gesamten Elbe im hydrologischen Jahr 2015 an über 300 Tagen unterhalb des mittleren Abflusses bewegt haben. Ähnlich war die Situation – mit Ausnahme der Eger (230 Tage) – auch an den Nebenflüssen. Demgegenüber geht aus dem Vergleich mit den Niedrigwasserkenngrößen bereits hervor, dass der obere Teil des Einzugsgebiets der Elbe stärker vom Niedrigwasser betroffen war als die unteren Bereiche. Dabei wird dieser Trend mit steigender Jährlichkeit des zu bewertenden Parameters immer augenscheinlicher und nur im Einzugsgebiet der Elbe oberhalb der Moldaumündung wurden sogar die Werte des niedrigsten NM7Q (Min. NM7Q) unterschritten (am Pegel Jaroměř sogar an 58 Tagen).

Tab. 2-1: Dauer der Werte der mittleren Tagesabflüsse unterhalb der Schwellenwerte im Zeitraum 11/2014 – 10/2015

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nr. | Fluss | Pegel | Dauer der Werte unterhalb der Schwellenwerte [Tage] für die für den Zeitraum 1961 – 2005 abgeleiteten Schwellenwerte [m3/s] | | | | | | | | | |
| MQ | | MNQ | | Q10 | | Q1 | | Min. NM7Q | |
| [m3/s] | [Tage] | [m3/s] | [Tage] | [m3/s] | [Tage] | [m3/s] | [Tage] | [m3/s] | [Tage] |
| 1 | Elbe | Jaroměř | 17,2 | 300 | 4,87 | 119 | 4,44 | 102 | 3,56 | 73 | 3,41 | 58 |
| 2 | Orlice | Týniště nad Orlicí | 19,3 | 313 | 5,16 | 135 | 4,28 | 102 | 2,74 | 58 | 2,32 | 14 |
| 3 | Elbe | Němčice | 47,2 | 313 | 13,3 | 120 | 11,7 | 103 | 8,73 | 9 | 8,00 | 0 |
| 4 | Jizera | Předměřice | 26,8 | 319 | 7,33 | 93 | 7,18 | 91 | 5,40 | 18 | 5,15 | 0 |
| 5 | Elbe | Kostelec nad Labem | 104 | 318 | 27,6 | 108 | 25,4 | 98 | 18,6 | 15 | 18,4 | 10 |
| 6 | Moldau | Prag | 144 | 313 | 51,1 | 100 | 47,0 | 50 | 36,9 | 0 | 33,5 | 0 |
| 7 | Elbe | Mělník | 256 | 322 | 88,3 | 116 | 81,5 | 97 | 63,9 | 13 | 57,2 | 0 |
| 8 | Eger | Louny | 37,1 | 230 | 11,1 | 62 | 7,68 | 0 | 3,81 | 0 | 3,49 | 0 |
| 9 | Elbe | Ústí nad Labem | 297 | 316 | 102 | 102 | 96,3 | 90 | 72,0 | 7 | 59,2 | 0 |
| 10 | Elbe | Děčín | 315 | 318 | 113 | 106 | 106 | 88 | 80,1 | 10 | 61,3 | 0 |
| 11 | Elbe | Dresden | 331 | 317 | 118 | 93 | 110 | 70 | 73,0 | 0 | 61,2 | 0 |
| 12 | Elbe | Torgau | 340 | 317 | 125 | 83 | 112 | 26 | 80,2 | 0 | 64,1 | 0 |
| 13 | Schwarze Elster | Löben | 18,6 | 333 | 5,91 | 119 | 3,39 | 39 | 2,27 | 1 | 1,84 | 0 |
| 14 | Elbe | Wittenberg | 367 | 316 | 138 | 99 | 121 | 48 | 94,2 | 5 | 78,7 | 0 |
| 15 | Mulde | Bad Düben 1 | 64,1 | 319 | 15,5 | 37 | 14,5 | 27 | 10,2 | 0 | 6,31 | 0 |
| 16 | Elbe | Aken | 444 | 320 | 169 | 103 | 149 | 72 | 128 | 14 | 104 | 0 |
| 17 | Saale | Calbe-Grizehne | 121 | 305 | 48,4 | 80 | 42,1 | 14 | 32,7 | 0 | 30,0 | 0 |
| 18 | Elbe | Barby | 562 | 320 | 220 | 96 | 192 | 50 | 150 | 1 | 126 | 0 |
| 19 | Elbe | Magdeburg-Strombrücke | 566 | 320 | 235 | 110 | 207 | 81 | 163 | 9 | 110 | 0 |
| 20 | Elbe | Tangermünde | 572 | 318 | 237 | 122 | 209 | 88 | 177 | 15 | 153 | 0 |
| 21 | Elbe | Wittenberge | 708 | 322 | 297 | 130 | 252 | 83 | 207 | 14 | 166 | 0 |
| 22 | Elbe | Neu Darchau | 716 | 309 | 287 | 113 | 238 | 37 | 187 | 6 | 174 | 0 |

Bei der Bewertung eines konkreten Niedrigwasserabflusses (Niedrigwasserereignisses) muss auch die Jahreszeit mitbetrachtet werden, in der ein solcher Abfluss verzeichnet wurde. Für den ersten Orientierungsvergleich können mittlere Monatsabflüsse herangezogen werden (vgl. Abb. 2-1).

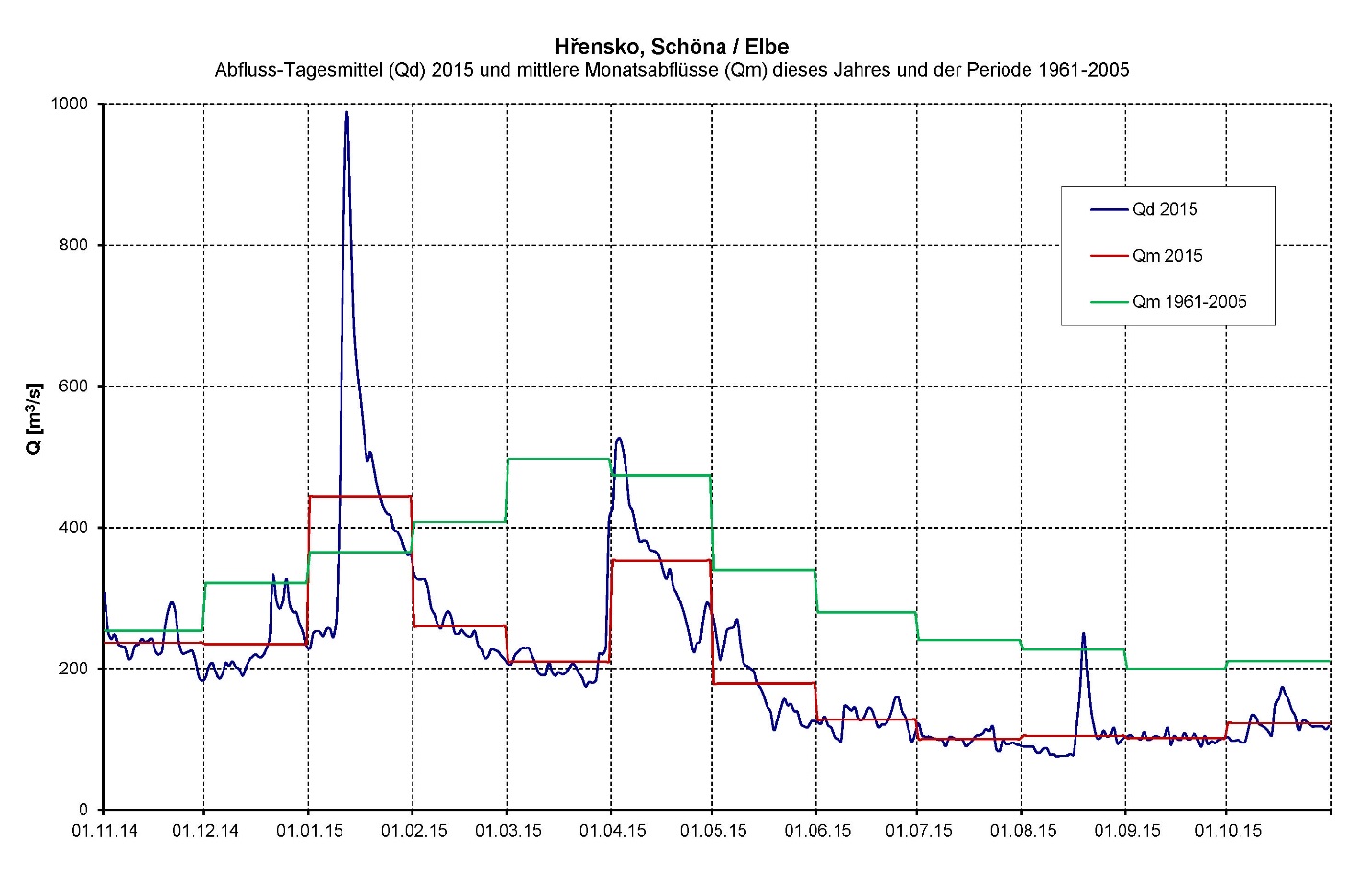


Abb. 2-1: Abfluss-Tagesmittel (Qd) und mittlere Monatsabflüsse (Qm) des Jahres 2015 sowie für den Zeitraum 1961 – 2005 an der Elbe am Grenzpegel Schöna-Hřensko

Im folgenden Kapitel 2.1.2 wird die Methodik zur Bewertung der Niedrigwasserabflüsse und ihrer Dauerzahlen unter Berücksichtigung der Saisonalität der Abflüsse beschrieben.

### Die Indikatoren SRI (Standardized Runoff Index) und DMRI (Drought Magnitude Runoff Index)

Die Anwendung dieser Indikatoren wird anhand der konkreten Auswertung der Niedrigwassersitution 2015 dargestellt.

**Methodik zur Berechnung von Niedrigwasserindikatoren**

Um die Intensität der Trockenheit zu bewerten, wurden vom Standardized Precipitation Index (SPI[[3]](#footnote-3))abgeleitete Indikatoren genutzt, die ursprünglich für die Analyse von Niederschlagshöhen bestimmt waren. Diese Indikatoren des Typs *S* drücken aus, wie extrem die aktuelle Intensität der jeweiligen Kenngröße ist. Der Indikator vergleicht die Niederschlagshöhen mit ihrem langjährigen Normalwert. Zunächst werden aggregierte Werte (Summen oder Mittelwerte) der jeweiligen Kenngröße für vorgegebene Zeiträume berechnet. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der so berechneten Werte muss in eine Standard-Normalverteilung (mit dem Mittelwert 0 und der Streuung 1), also eine sog. Z-Verteilung transformiert werden. Die Umwandlung erfolgt, indem mithilfe einer Verteilungsfunktion den einzelnen empirischen Werten Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden, die anschließend (mithilfe einer Quantilfunktion der Standard-Normalverteilung) zurück in die gewünschten Quantile überführt werden, d. h. die *SPI*-Werte. Diese Werte des Indikators werden nach Intensitätskategorien klassifiziert, die den Charakter der Trockenperiode bestimmen, siehe Intervalle in Abb. 2-2.

Wenn das Verfahren zur Festlegung des *SPI* für den Abfluss genutzt wird, wird der Indikator als *SRI bezeichnet.*

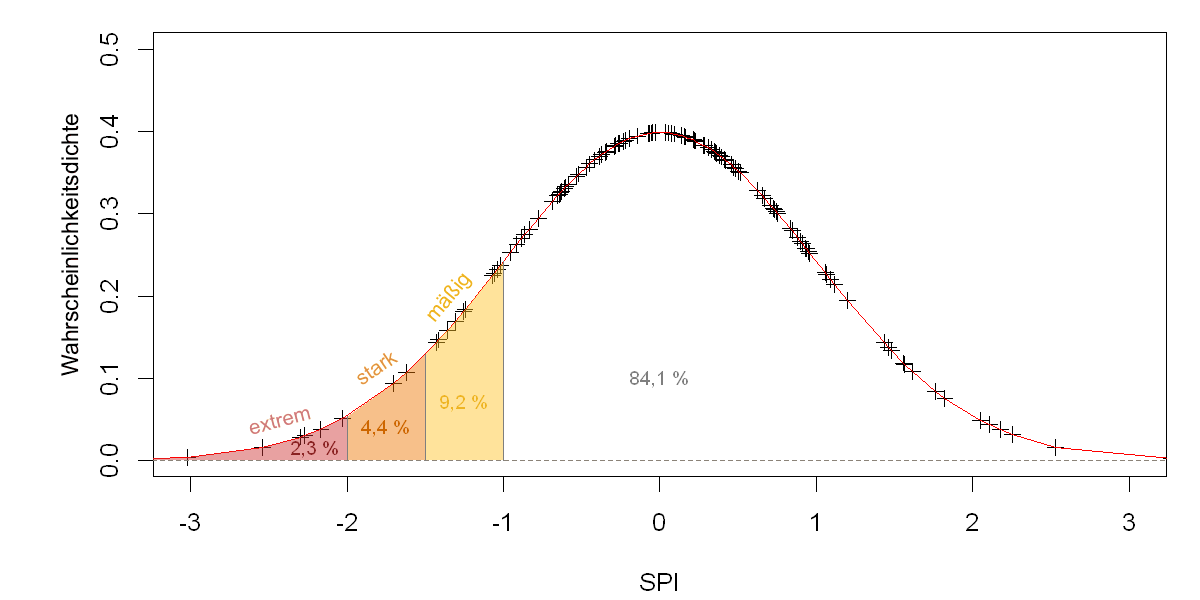


Abb. 2-2: Klassifizierung der Trockenheit nach dem SPI, ggf. SRI (mäßige, starke und extreme Trockenheit). In Prozent ist die Eintrittswahrscheinlichkeit der jeweiligen Kategorie der Trockenheit dargestellt. (Quelle: ČHMÚ)

Eine Erweiterung der Anwendung des *SRI* ist die Einführung der Integration eines Indikators vom Typ *S* in der Zeit und die anschließende Umwandlung dieser Werte in eine Z-Verteilung (ähnlich wie beim *SPI*). Teilweise handelt es sich um eine Analogie zur Festlegung von Defizitvolumina in Oberflächengewässern. Damit wird nicht nur eine Darstellung der Intensität der Trockenheit im aktuellen Zeitschritt, sondern auch im Laufe der gesamten Trockenperiode erreicht. Diese Gruppe von Indikatoren des Typs Drought Magnitude (DM) ermöglicht die Darstellung des gesamten Entwicklungsstands der Kenngröße für die gesamte Dauer der Trockenperiode[[4]](#footnote-4).

Die Indikatoren der Trockenheit wurden im Hinblick auf ihren standardisierten Charakter ausgewählt, d. h., dass die Wahrscheinlichkeitsdichte nach der Umwandlung in eine Z-Verteilung für alle Pegel gleich ist (d. h. alle Verteilungen haben den Mittelwert Null und eine Einheitsstreuung). Die Indikatoren ermöglichen so ohne Rücksicht auf die lokalen spezifischen klimatischen und hydrologischen Bedingungen einen Vergleich der Intensität des Niedrigwassers und seines Verlaufs an den einzelnen Pegeln untereinander. Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit, die kausalen Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss bei gleichzeitiger Auswertung der Indikatoren *SPI* und *SRI* zu untersuchen.

**Auswertung der Indikatoren SRI und DMRI**

Der Verlauf der Niedrigwassersituation 2015 wurde an ausgewählten Pegeln an der Elbe und ihren Nebenflüssen mithilfe der oben genannten Indikatoren abflussbezogen ausgewertet (*SRI, DMRI*). Die Auswertung der Indikatoren erfolgte im Wochenschritt, wodurch die Saisonalität berücksichtigt wurde. Für jede Woche im Jahr wurden die Parameter der schiefen Verteilung berechnet und anschließend erfolgte die Umwandlung in eine Z-Verteilung (es standen also 52 solcher schiefen Verteilungen zur Verfügung). Die mittleren Wochenabflüsse und die mehrjährigen Wochenmittel, auf die sich die Werte des Index SRI bezogen, wurden anhand der Reihen der Tagesabflüsse ausgewertet, dabei die mehrjährigen Mittel für eine möglichst lange Messreihe.

Die Intensität der Niedrigwassersituation 2015 wurde mit ausgewählten Jahren verglichen, wobei ein Kriterium für deren Auswahl der Wert des jeweiligen Indikators *SRI*, *DMRI* für den Zeitraum von 8 Wochen vor und 8 Wochen nach dem Höhepunkt der Niedrigwassersituation 2015 war. Verglichen wurden also Niedrigwasserperioden (die 5 trockensten Jahre) im gleichen 16-wöchigen Zeitraum (zu einer anderen Jahreszeit ablaufende Niedrigwasserperioden werden nicht betrachtet; da sie andere mehrjährige Kenngrößen haben).

Im folgenden Text werden die Ergebnisse der Auswertung der Niedrigwasserindikatoren für die Abflüsse SRI (Abb. 2-3) und DMRI (Abb. 2-4) beschrieben.

|  |  |
| --- | --- |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\02a_SRI_Jaromer_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\02b_SRI_Kostelec_52w-warning.JPG |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\02c_SRI_Chuchle_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\02d_SRI_Decin_52w-warning.JPG |

Abb. 2-3: Bewertung des Niedrigwassers an ausgewählten Pegeln (Jaroměř, Kostelec nad Labem, Prag-Chuchle, Děčín) anhand des Indikators SRI (Quelle: ČHMÚ)

|  |  |
| --- | --- |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\03a_DMRI_Jaromer_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\03b_DMRI_Kostelec_52w-warning.JPG |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\03c_DMRI_Chuchle_52w-warning.jpg | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\03d_DMRI_Decin_52w-warning.JPG |

Abb. 2-4: Bewertung des Niedrigwassers an ausgewählten Pegeln (Jaroměř, Kostelec nad Labem, Prag-Chuchle, Děčín) anhand des Indikators DMRI (Quelle: ČHMÚ)

Im tschechischen Einzugsgebiet der Elbe wurden die Berechnungen für sieben Pegel vorgenommen (Jaroměř – Elbe, Týniště nad Orlicí – Orlice, Předměřice – Jizera, Kostelec nad Labem – Elbe, Prag-Chuchle – Moldau, Mělník – Elbe, Děčín – Elbe).

Anhand des Indikators *SRI* kann die Niedrigwasserperiode 2015 an von Talsperren unbeeinflussten und relativ wenig beeinflussten Pegeln (Elbe oberhalb der Moldaumündung) als extremes (Jaroměř, Týniště nad Orlicí), ggf. starkes (Předměřice, Kostelec nad Labem) Niedrigwasser charakterisiert werden. An allen vier bewerteten Pegeln erreicht der Indikator SRI den niedrigsten Wert in der ersten Augusthälfte. Anhand des Indikators DMRI lässt sich das Niedrigwasser ab der zweiten Augusthälfte als stark bis extrem einordnen. Mitte November erreichte der DMRI Nullwerte und deutet damit das Ende der Niedrigwasserperiode an.

Bei der Bewertung der Niedrigwasserabflüsse ist zu berücksichtigen, dass die unterhalb der Talsperren liegenden Pegel beeinflusst sind und die Abflüsse in Niedrigwasserperioden durch Abgaben aus diesen Talsperren signifikant erhöht werden. Aus diesem Grund war der Verlauf der Niedrigwasserperiode 2015 in der Moldau in Prag-Chuchle sowie in der Elbe in Mělník und Děčín nicht so markant wie an den relativ unbeeinflussten Pegeln. Anhand des Indikators *SRI* handelte es sich an diesen drei bewerteten Pegeln um ein starkes Niedrigwasser, das aber bereits Ende März auftrat. Dank der Aufhöhung der Abflüsse kann das Niedrigwasser zur Zeit seines Höhepunkts Mitte August nur als mäßig eingeordnet werden. Anhand des DMRI trat das starke Niedrigwasser Mitte September ein; an der Elbe endete es in der zweiten Novemberhälfte und an der Moldau dauerte es im Dezember 2015 noch an. In Bezug auf das mithilfe des Indikators *DMRI* bewertete Gesamtabflussdefizit gab es in der Moldau in Prag-Chuchle sowie in der Elbe in Děčín ein starkes Niedrigwasser.

Im deutschen Einzugsgebiet der Elbe fällt die Ausprägung des Niedrigwassers in Hinblick auf den SRI und DMRI weniger extrem als im tschechischen Einzugsgebiet aus. In Dresden erreicht der SRI den niedrigsten Wert bereits Ende März (Abb. 2-5), sprich weit vor dem eigentlichen Höhepunkt der Niedrigwassersituation. Dies lässt auf den ab Sommer beginnenden abflussstützenden Einfluss der Talsperren (Moldaukaskade) schließen. Unterhalb von Dresden nimmt deren Bedeutung zunehmend ab, sodass hier das Minimum erst im August erreicht wird (Wittenberge, Neu Darchau – Abb. 2-5) und so wieder direkt mit der Abflussentwicklung zu korrespondieren scheint. Das kumulierte Abflussdefizit (DMRI) weist im Längsschnitt ein relativ einheitliches Bild auf und deutet in der Elbe auf eine starke bis moderate Niedrigwasserperiode, mit einer leichten Abschwächung bezüglich ihrer Intensität in Richtung Unterlauf hin (Abb. 2-6). Mit vorangegangenen bedeutsamen Ereignissen ist 2015 nicht vergleichbar, zumal sämtliche betrachteten Jahre vor Inbetriebnahme der Moldaukaskade liegen und mitunter deutlich extremere Entwicklungen genommen haben (z. B. 1934).

Die untersuchten unbeeinflussten Pegel der Nebenflüsse der Elbe liefern hinsichtlich des SRI ein unterschiedliches Bild (Abb. 2-5). In Adorf an der Weißen Elster entspricht der Index kurzzeitig sogar einer extremen Niedrigwasserentwicklung. Hingegen deuten die Ergebnisse von Elbersdorf an der Wesenitz (linker Nebenfluss der Elbe oberhalb von Dresden) oder Meisdorf an der Selke im Harz auf eine nur moderate Niedrigwassersituation hin. Bei Betrachtung des *DMRI* kann für alle untersuchten Pegel kein nennenswertes Gesamtabflussdefizit festgestellt werden. Nicht zuletzt liegt das an der Sensibilität kleiner Einzugsgebiete bezüglich konvektiv geprägter Witterungsabschnitte. Der Vergleich mit extremen Niedrigwassersituationen vergangener Jahre bestätigt die getroffenen Annahmen anhand des DMRI.

|  |  |
| --- | --- |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\04a_SRI_Dresden_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\04d_SRI_Adorf_52w-warning.JPG |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\04b_SRI_Wittenberge_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\04e_SRI_Elbersdorf_52w-warning.JPG |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\04c_SRI_Neu_Darchau_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\04f_SRI_Meisdorf_52w-warning.JPG |

Abb. 2-5: Bewertung des Niedrigwassers an ausgewählten Pegeln (Dresden, Wittenberge, Neu Darchau, Adorf, Elbersdorf, Meisdorf) anhand des Indikators SRI   
(Quelle: ČHMÚ, Daten: WSV, LfULG SN, LHW ST)

|  |  |
| --- | --- |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\05a_DMRI_Dresden_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\05d_DMRI_Adorf_52w-warning.JPG |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\05b_DMRI_Wittenberge_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\05e_DMRI_Elbersdorf_52w-warning.JPG |
| K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\05c_DMRI_Neu_Darchau_52w-warning.JPG | K:\Publikationen Bearbeitung\Niedrigwasser-2015\D\Abbildungen\Kap_3\Kap_3-4\05f_DMRI_Meisdorf_52w-warning.JPG |

Abb. 2-6: Bewertung des Niedrigwassers an ausgewählten Pegeln (Dresden, Wittenberge, Neu Darchau, Adorf, Elbersdorf, Meisdorf) anhand des Indikators DMRI   
(Quelle: ČHMÚ, Daten: WSV, LfULG SN, LHW ST)

### Anthropogene Beeinflussung der Niedrigwasserabflüsse an der unteren Moldau und an der Elbe

Bei der Quantifizierung des Ausmaßes der Wasserknappheit mithilfe geeigneter Indikatoren sollten gemäß der Aufgabenstellung die natürlichen (hydrologische Trockenheit) und anthropogenen (Gewässernutzungen) Ursachen von Wasserknappheit oder deren Kombination berücksichtigt werden.

Im Falle der Berücksichtigung der Gewässernutzungen bei der Beurteilung der Ursachen von Wasserknappheit ist jedes Gewässer bzw. jedes Gewässerprofil individuell und unter Berücksichtigung der jeweiligen konkreten Verhältnisse zu bewerten.

Für diese Zwecke können die Ganglinien der beobachteten (beeinflussten) und der bereinigten Abflüsse verglichen und anschließend das Niedrigwasser bewertet werden (siehe Kap. 2.1.1 und 2.1.2).

Für die Analyse der anthropogenen Beeinflussung der Niedrigwasserabflüsse wurden die Pegel Prag-Chuchle an der Moldau und Děčín an der Elbe ausgewählt, an denen die Abflüsse in Niedrigwasserzeiten durch die Bewirtschaftung der zu diesem Zweck bestimmten Talsperren aufgehöht werden. Die Berechnung der um den Talsperreneinfluss bereinigten Reihe der mittleren Tagesabflüsse basierte auf einem Verfahren, bei dem die Reihen der mittleren Tagesabflüsse an den durch die Niedrigwasseraufhöhung aus den großen Talsperren nicht signifikant beeinflussten Oberliegerpegeln zusammengerechnet werden. Bei der Berechnung wurden die Wellenlaufzeiten der mittleren Tagesabflüsse (zur Vereinfachung wurde eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s angenommen) bis zu den Pegeln Prag-Chuchle und Děčín betrachtet. Die Abflüsse an diesen Pegeln entsprechen dem Abfluss von 74,4 % des Einzugsgebiets bis zum Pegel Prag-Chuchle und 77,2 % des Einzugsgebiets bis zum Pegel Děčín (in die Berechnung für Děčín ging der Abschlusspegel an der Elbe oberhalb der Moldaumündung Kostelec nad Labem als unbeeinflusst ein, was bedeutet, dass der Einfluss der Talsperren aus dem Einzugsgebiet oberhalb dieses Pegels nicht betrachtet wurde). Die Abflüsse aus den restlichen nicht gemessenen Teilen des Einzugsgebiets wurden anhand geeigneter Bezugspegel berechnet.

In den Abbildungen 2-7 und 2-8 sind die Ganglinien der beobachteten und der abgeleiteten bereinigten Abflüsse für das Jahr 2015 sowie die beobachteten Abflüsse im ausgewählten Niedrigwasserjahr 1947 in der Moldau in Prag-Chuchle und in der Elbe in Děčín dargestellt. Die Abbildungen enthalten zudem noch die Werte für den mehrjährigen mittleren Abfluss MQ, den mehrjährigen mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ sowie den Abfluss Q10 (Bezugszeitraum 1961 – 2005).

An der Moldau in Prag-Chuchle (Abb. 2-7) ist ein Rückgang der bereinigten Abflüsse seit Anfang Juli ersichtlich, während sich die beobachteten Abflüsse auf Dauer im Bereich um 45 m3/s bewegten. Die niedrigsten unbeeinflussten Abflüsse traten vom 08.08. bis 17.08. auf, wobei ihre Werte unter 20 m3/s sanken. Am 16.08. wurde das Minimum mit 15,6 m3/s erreicht. Aus dem Vergleich beider Reihen ergibt sich ferner, dass die Niedrigwasseraufhöhung durch die Talsperren in der Zeit mit den niedrigsten Abflüssen in Prag-Chuchle bis zu ca. 30 m3/s erreichte. Die Abflüsse wurden etwa ab Mitte der ersten Julidekade bis Mitte Oktober 2015 signifikant gestützt

An der Elbe in Děčín (Abb. 2-8) gingen die Abflüsse in der bereinigten Reihe etwa ab Anfang Juli bis Mitte August allmählich zurück, wobei die unbeeinflussten Abflüsse im Zeitraum vom 10.08. bis 17.08. unter 50 m3/s lagen und das Minimum am 14.08. mit 47,7 m3/s erreicht wurde. Da sich die beobachteten mittleren Tagesabflüsse in diesem Zeitraum um 80 m3/s bewegten, kann die Aufhöhung der Abflüsse in Děčín auf ca. 30 m3/s geschätzt werden Tatsächlich war die Aufhöhung noch um einige m3/s größer, weil die Abflüsse auch aus mehreren Talsperren im oberen Teil des Einzugsgebiets der Elbe, z. B. aus der Talsperre Rozkoš, gestützt wurden. Falls man diese Talsperren in die Berechnung einbeziehen würde, würde sich die Fläche des Zwischeneinzugsgebiets, aus dem der Abfluss per Analogie zu schätzen wäre, wesentlich vergrößern und die geschätzten mittleren Tagesabflüsse wären im Ergebnis mit einer noch größeren Unsicherheit behaftet. Nach intensiven Niederschlägen Mitte August, die zeitweise höhere Abflüsse zur Folge hatten, sanken diese erneut, die mittleren Tagesabflüsse näherten sich aber nicht mehr den Mindestwerten der ersten Augusthälfte.

Die unbeeinflussten mittleren Tagesabflüsse in Prag und Děčín für 2015 wurden darüber hinaus mit den beobachteten Abflüssen im Niedrigwasserjahr 1947 verglichen, die durch Talsperren noch nicht deutlich beeinflusst waren. Es lässt sich feststellen, dass ohne die Aufhöhung der Abflüsse durch die Talsperren die Niedrigwasserabflüsse am Pegel Prag im Jahr 2015 mit denen im Jahr 1947 vergleichbar wären. Die Abflussganglinie war 1947 jedoch anders, da der signifikante Abflussrückgang wesentlich früher begann und bis Mitte Dezember mit Unterbrechungen Ende Juni und Ende November andauerte. Aus dem Vergleich der bereinigten Reihe der mittleren Tagesabflüsse 2015 am Pegel Děčín mit den beobachteten mittleren Tagesabflüssen 1947 ergibt sich eine große Ähnlichkeit in der Abflussabnahme von Anfang Juli bis Mitte August. Die Niedrigwasserperiode im Jahr 1947 dauerte bis Mitte November, wobei am 22.08. und 04.09. das Minimum mit 40,1 m3/s erreicht wurde.

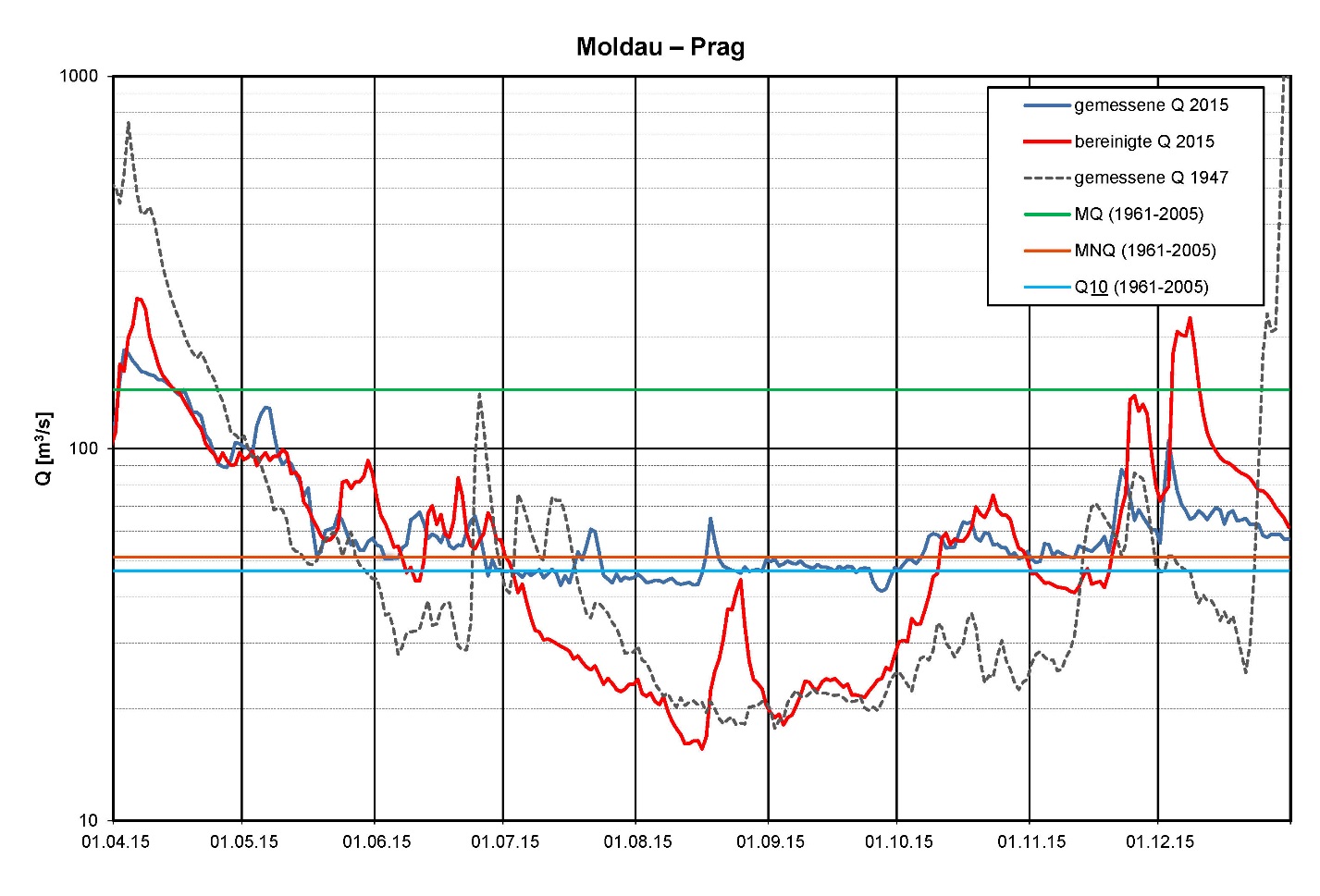


Abb. 2-7: Beobachtete und abgeleitete bereinigte Abflüsse 2015 sowie beobachtete Abflüsse 1947 in der Moldau in Prag. Zum Vergleich sind für den Bezugszeitraum 1961 – 2005 die Werte MQ, der mehrjährige mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) sowie Q10 aufgeführt   
(Quelle: ČHMÚ).

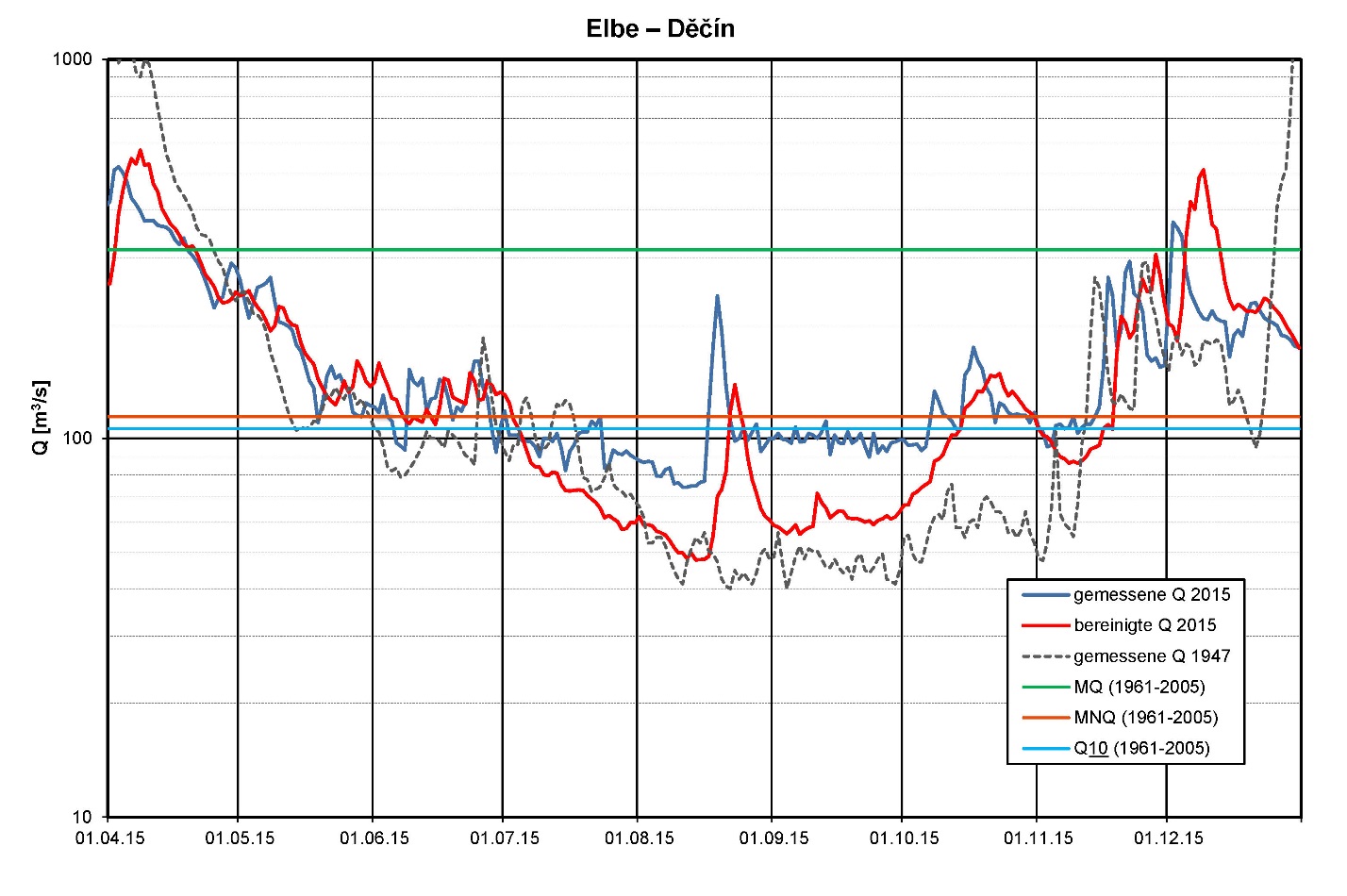


Abb. 2-8: Beobachtete und abgeleitete bereinigte Abflüsse 2015 sowie beobachtete Abflüsse 1947 in der Elbe in Děčín. Zum Vergleich sind für den Bezugszeitraum 1961 – 2005 die Werte MQ, der mehrjährige mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) sowie Q10 aufgeführt   
(Quelle: ČHMÚ)

Für den anschließenden deutschen Abschnitt der Binnenelbe wurden vom Übergabepegel Děčín an (nahe der deutsch-tschechischen Grenze) mit dem hydrodynamisch-numerischen 1D-SOBEK-Modell der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Modelläufe durchgeführt, um die stromab gerichtete Wirkung der Niedrigwasseraufhöhung aus den tschechischen Talsperren beurteilen zu können. Als obere Randbedingung sind in die Modellierung die Daten für den Pegel Děčín eingegangen (beobachtete Abfluss-Tagesmittel und die mit dem oben aufgeführten Verfahren ermittelten bereinigten Abflüsse).

Hinsichtlich der Verwendung des Modells SOBEK ist zu beachten, dass sich die Berechnungen bei der vorliegenden Niedrigwassersituation an einigen Pegeln in Größenordnungen des Abflusses und des Wasserstands befinden, für die keine durch Messungen belegten W-Q-Beziehungen vorliegen. Daraus resultiert, zumal in Gewässerabschnitten mit starker Erosionsdynamik, eine erhöhte Ergebnisunsicherheit. Als verlässliche Abschätzung können die Ergebnisse jedoch verwendet werden.

Beispielhaft sind in Abb. 2-9 für den Pegel Barby unterhalb der Saalemündung die mit dem Modell ermittelten und die gemessenen Abflüsse für den ausgewerteten Zeitraum von April bis Oktober 2015 dargestellt.

Werden die jeweils niedrigsten Abflüsse im Betrachtungszeitraum verglichen, so ergibt sich ein Effekt der Talsperren, der in Děčín eine „Stützung“ des Abflusses um ca. 30 m³/s bewirkt. Dieser Einfluss ist laut Modellierung auch an der Unteren Mittelelbe noch zu beobachten. Dies bedeutet, dass der jeweils niedrigste berechnete Wasserstand an der deutschen Elbe oberhalb der Saalemündung durch das „Zuschusswasser“ aus den tschechischen Talsperren zwischen 20 und 40 cm höher liegt als im Fall ohne Talsperrenwirkung, unterhalb der Saalemündung zwischen 15 und 20 cm.

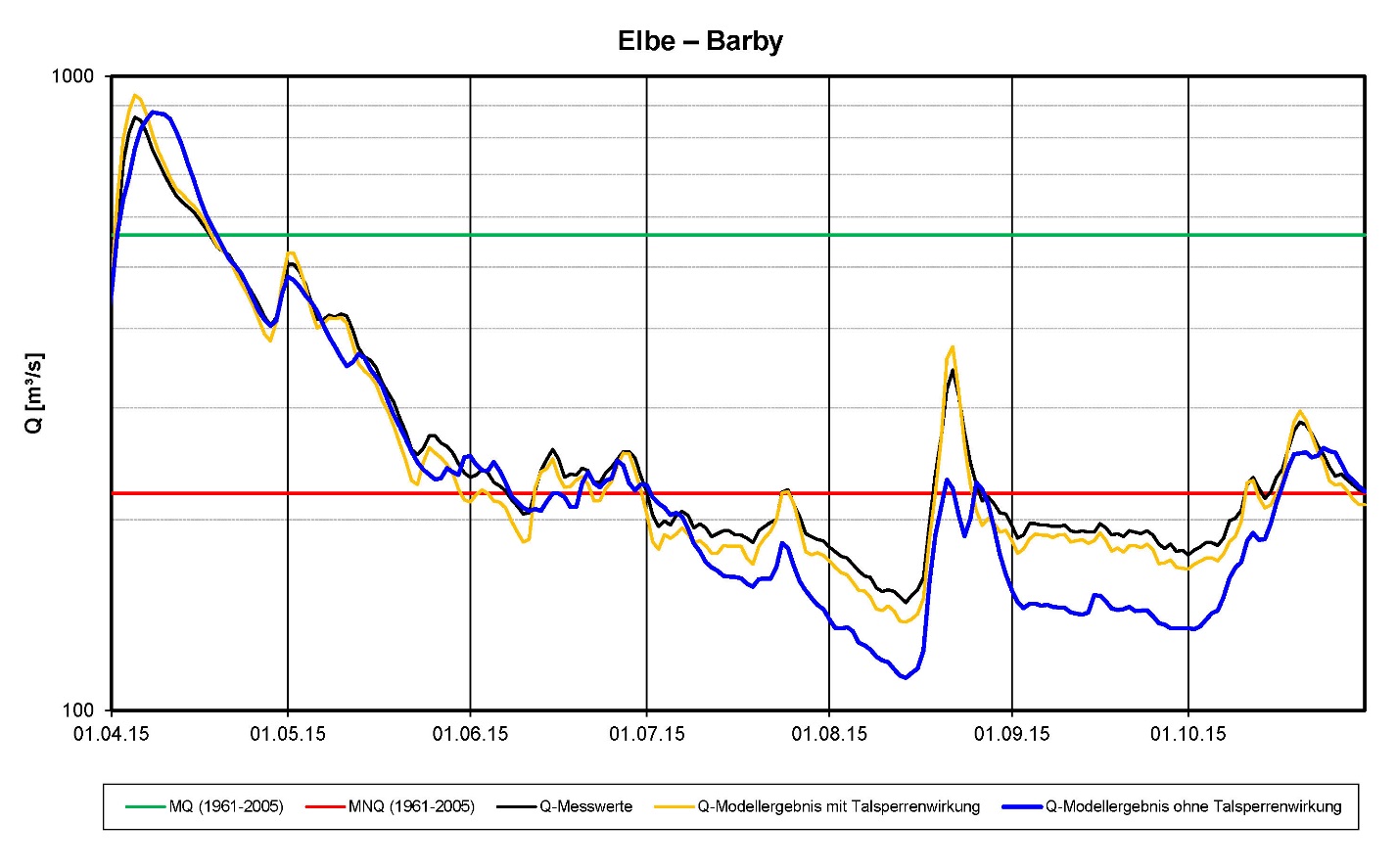


Abb. 2-9: Ergebnisse der hydraulischen Modellierung (Tagesmittelwerte des Abflusses) am Beispiel des Pegels Barby (Quelle: BfG)

Die modellierten Wasserstände werden von der morphologischen Situation im Gerinne und weiteren Effekten beeinflusst (bspw. durch die Elbenebenflüsse), die in der Modellierung aber nicht berücksichtigt sind.

Das Gesamtbild in Abbildung 2-10 zeigt den Einfluss der Talsperren in der Tschechischen Republik auf die Wasserstände im deutschen Elbeabschnitt. Den größten Effekt gibt es in den oberen Abschnitten des Stroms; aber selbst an der unteren Mittelelbe beträgt die Wirkung noch deutlich mehr als einen Dezimeter. Der Streckenabschnitt unterhalb Elbe-km 550, in dem der Einfluss des Wehrs Geesthacht sukzessive zunimmt, ist nicht dargestellt.

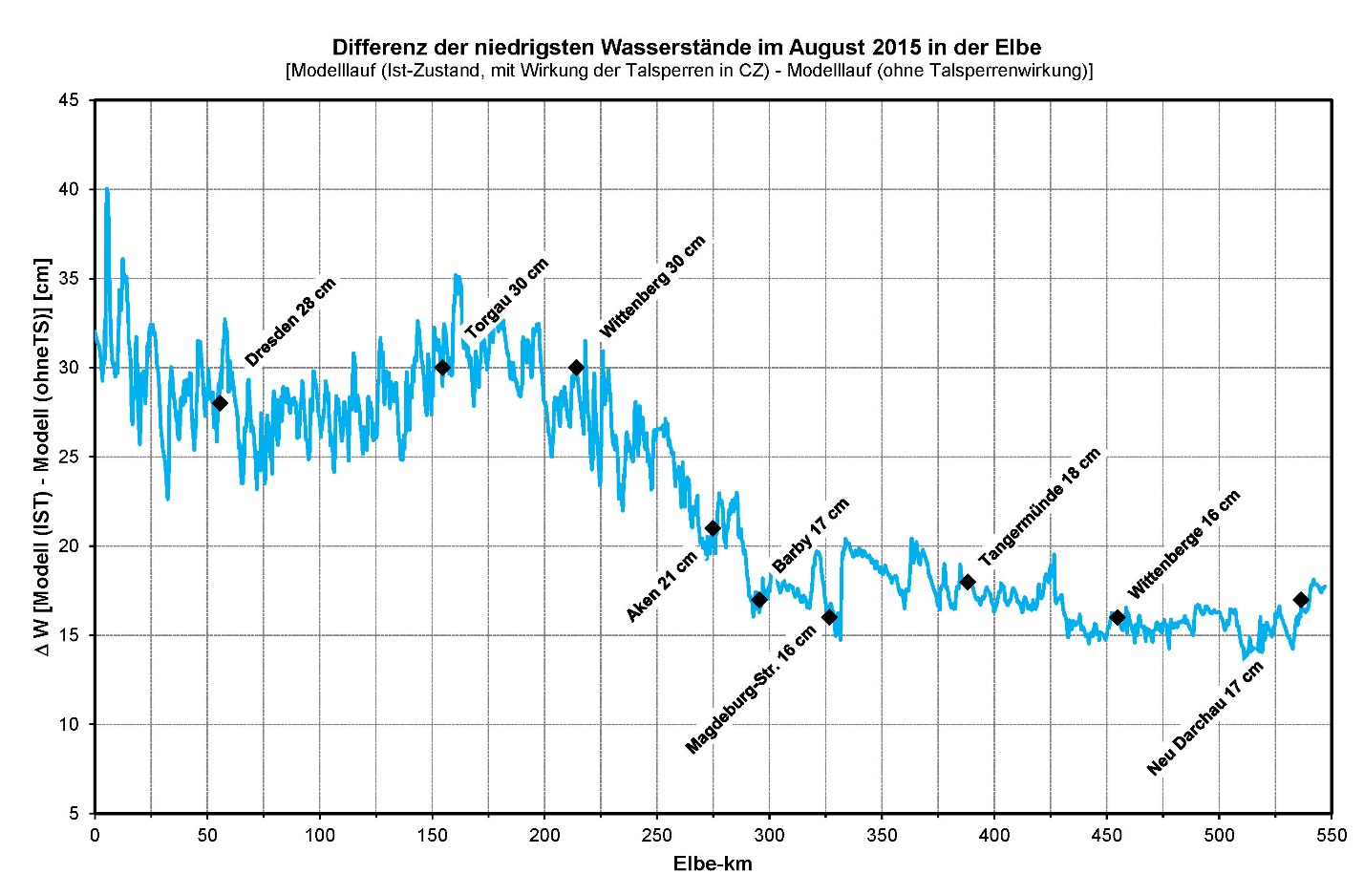


Abb. 2-10: Differenz der niedrigsten Wasserstände im August 2015 in der deutschen Elbe (Modelllauf „mit Wirkung der tschechischen Talsperren“ vs. Modelllauf „ohne Talsperrenwirkung“) Quelle: BfG

## Bewertung des Grundwassers

Der Einfluss der Trockenperiode auf das Grundwasser kann anhand der Überschreitungswahrscheinlichkeit des Wasserstands bzw. der Quellschüttung im entsprechenden Kalendermonat bewertet werden. Der Ausprägungsgrad der Niedrigwassersituation lässt sich mittels dreier Kategorien anhand der monatlichen Überschreitungskurve (in Deutschland der Unterschreitungskurve) charakterisieren, Der Bereich von 25 bis 75 % umfasst die Normalwerte. Als mäßige Niedrigwassersituation werden Werte mit einer Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von 75 bis 85 % (der Unterschreitung von 15 bis 25 %) betrachtet, als starke Niedrigwassersituation Werte mit einer Wahrscheinlichkeit der Überschreitung von 85 bis 95 % (der Unterschreitung von 5 bis 15 %). Als extreme Niedrigwassersituation werden Werte bezeichnet, die 95 bis 100 % (der Unterschreitung 0 bis 5 %) entsprechen.

**Bewertung des Jahres 2015**

Bei der Bewertung des Grundwassers im Jahr 2015 ist in der **Tschechischen Republik** in den flachen Grundwasserleitern schon in den Frühjahrsmonaten ein Grundwasserdefizit zu erkennen, als die Wasserstände zur Zeit der üblichen Frühjahrsmaxima leicht bis stark unter den mehrjährigen Mittelwerten lagen. Im Hinblick auf die Wasserstände in den Flachbohrungen war Mitte August die trockenste Zeit, für die Quellschüttungen war es Ende September. Etwas anders war die Situation bei den tiefsten Grundwasserleitern, in denen sich ein leichtes Abfallen erst mit Beginn des Sommers zu zeigen begann und sich durchgängig bis Oktober fortsetzte, als die Wasserstände anfingen zu stagnieren.

Aus längerfristiger Sicht (1981 – 2015) wird offensichtlich, dass die 2015 untersuchten Parameter bis auf sehr niedrige Niveaus sanken und dass man das Jahr 2015 den Niedrigwasserjahren zuordnen kann, ähnlich wie die Jahre 1991, 1992, 1993, 2003, 2004 bzw. 2009. In der jährlichen Gesamtbewertung war 2015 jedoch nicht das trockenste Jahr. Die niederschlagsreichere Periode im Herbst füllte die flachen und tieferen Grundwasserleiter teilweise auf und verbesserte somit die Gesamtbilanz des Jahres für das Grundwasser.

Im Hinblick auf die Entwicklung der Niederschläge und der Lufttemperaturen verschlechterte sich die Grundwassersituation 2016 erneut.

In **Deutschland** sind sowohl räumlich als auch jahreszeitlich betrachtet keine einheitlichen Tendenzen im Grundwasserstand für das Jahr 2015 zu erkennen.

# AUFGABE 2: Wasserknappheitsproblem in der internationalen Flussgebietseinheit Elbe

## Tschechische Republik

Im Zusammenhang mit der 2015 aufgetretenen extremen Trockenheit wurde der Beschluss der Regierung der Tschechischen Republik vom 29.07.2015 Nr. 62 zur Vorbereitung der Durchführung von Maßnahmen zur Minderung der negativen Auswirkungen von Trockenheit und Wasserknappheit (Usnesení vlády ČR ze dne 29. července 2015 č. 620 k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody) herausgegeben. Die in diesem Dokument enthaltenen Aufgaben beinhalten 7 Themenbereiche, die das Vorschlagen von rechtlichen, organisatorischen, betriebstechnischen, ökonomischen, technischen und der Umwelt dienenden Maßnahmen umfassen, die zur Minderung der Auswirkungen von Trockenheit führen.

Im Ergebnis des oben genannten Beschlusses bestätigte die Regierung der Tschechischen Republik am 24.07.2017 das strategische Dokument „Konzept zum Schutz vor den Folgen von Trockenheit für das Gebiet der Tschechischen Republik“ (Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, im Folgenden nur Konzept), das 5 Themenschwerpunkte aufzeigt. Das Konzept umfasst u. a. eine Informationsplattform zu Trockenheit und Wasserknappheit, die Entwicklung und Stärkung des Wasserdargebots, die Erhöhung des Rückhalte- und Speichervermögens der Landschaft. Bestandteil des Konzepts sind auch Pläne zur Bewältigung von Trockenheit. Die vorgeschlagenen Maßnahmen sollen zu einer Reduzierung des Defizits an Bodenfeuchte sowie zur Eindämmung des Auftretens von unzureichenden Abflüssen in den Gewässern beitragen. Ein weiteres Maßnahmenpaket führt zu einer verantwortungsbewussten Bewirtschaftung des Wassers, d. h. zu seiner wiederholten Verwendung und zur Reduzierung des Wasserverschmutzungsgrads. Um die Durchführung der vorgeschlagenen Maßnahmen zum Schutz vor den Folgen von Trockenheit und Wasserknappheit zu sichern, wird zurzeit eine Novelle des Wassergesetzes vorbereitet, welche die Erarbeitung eines Kapitels „Schutz vor Trockenheit“ beinhalten wird.

Das Konzept steht in Übereinstimmung mit der Anpassungsstrategie an den Klimawandel unter den Bedingungen der Tschechischen Republik (Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR), die mit dem Beschluss der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 861 vom 26.10.2015 bestätigt wurde, und untersetzt die im Nationalen Aktionsplan zur Anpassung an den Klimawandel (Národní akční plán adaptace na změnu klimatu) vorgeschlagenen Maßnahmen, der mit dem Beschluss der Regierung der Tschechischen Republik Nr. 34 vom 16.01.2017 im Bereich Bewältigung des Risikos einer langfristigen Trockenheit bestätigt wurde. Das Konzept steht auch in Übereinstimmung mit den Zielen der Strategie des Ressorts des Landwirtschaftsministeriums der Tschechischen Republik mit einem Ausblick bis 2030 (Strategie resortu Ministerstva zemědělství ČR s výhledem do roku 2030).

Die folgenden Texte (einschließlich der Definition der Begriffe) basieren auf diesem Konzept.

**Trockenheit** ist eine natürliche Erscheinung. Es handelt sich um eine zeitweilige negative und deutliche Abweichung vom Normalwert der Niederschläge, die über einen beträchtlichen Zeitraum andauert und große Gebiete erfasst und in Abhängigkeit von ihrer Stärke und Dauer zu einer meteorologischen, landwirtschaftlichen, hydrologischen und sozioökonomischen Trockenheit führen kann. Trockenheit wird unter den Aspekten Dauer, Stärke der Abweichung vom Normalwert (oder auch der Intensität) und flächenmäßige Ausdehnung bewertet.

**Wasserknappheit** ist eine künstliche Erscheinung. Es handelt sich um ein Ungleichgewicht, das im Zusammenhang mit der Nutzung des Wasserdargebots in einem höheren Maße, als es dessen natürliche Erneuerungsrate ermöglicht, entsteht. Wasserknappheit kann auch infolge einer Verschmutzung von Wasser entstehen, die seine Verwendung unmöglich macht.

Der Entwicklungsprozess von Trockenheit ist in Abb. 3-1 dargestellt. Die Trockenheit zeigt sich mit zunehmender Dauer nach und nach in weiteren Teilen des Wasserkreislaufs. Das Niederschlagsdefizit führt zu einem Rückgang der Bodenfeuchte, zur Verminderung des Oberflächenabflusses und des oberflächennahen Abflusses, zu einem Rückgang der Grundwasserspeisung und anschließend zu einer Verringerung der Abflusshöhen in den Gewässern.

Im Zusammenhang damit, welcher Teil des Wasserkreislaufs von der Trockenheit betroffen ist, lassen sich unterscheiden:

* meteorologische Trockenheit,
* landwirtschaftliche (Boden-)Trockenheit,
* hydrologische Trockenheit,
* sozioökonomische Trockenheit (wenn es infolge der natürlichen Prozesse bereits zu signifikanten Auswirkungen auf die Gesellschaft, die Wirtschaft und die Umwelt kommt).

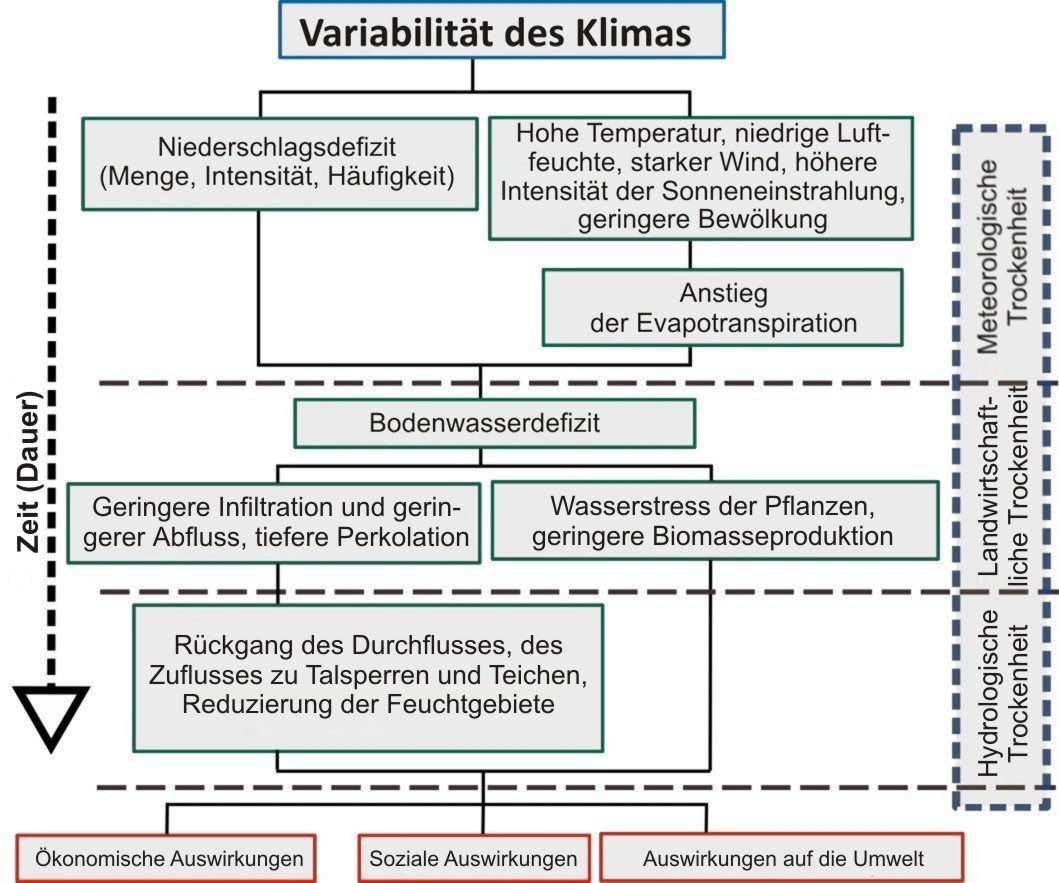


Abb. 3-1: Entwicklung der Trockenheit bis in die einzelnen Teile des Wasserkreislaufs   
(Quelle: VÚV, ČZU)

Das Konzept beinhaltet eine Analyse der einzelnen Typen der Trockenheit (siehe Abb. 3-1), und zwar im Hinblick auf:

* die Gefährdung des Gebiets der Tschechischen Republik unter dem Aspekt Trockenheit und beobachtete Trends,
* die Gefährdung des Gebiets der Tschechischen Republik unter dem Aspekt Wasserknappheit,
* Szenarien der Klimaentwicklung und deren Folgen für den Zustand und die Nutzung des Wasserdargebots in der Tschechischen Republik,
* Auswirkungen der Trockenheit auf die Wasserbeschaffenheit und die aquatischen Ökosysteme.

Ferner ist das Konzept folgenden Themen gewidmet:

* Strategische Ausrichtung der Wasserwirtschaft auf dem Gebiet des Schutzes vor den Folgen von Trockenheit,
* Maßnahmenvorschläge zum Schutz vor den Folgen von Trockenheit und vor Wasserknappheit,
* Durchführung von Maßnahmen zur Eindämmung der Folgen von Trockenheit und Wasserknappheit,
* Ausrichtung von Forschung und Wissenschaft auf die Problematik Trockenheit und Wasserknappheit.

Da es sich um ein umfangreiches Dokument handelt (ca. 70 Seiten), wird im Weiteren nur ein kurzer Auszug aus der Analyse der Problematik der hydrologischen Trockenheit auf dem Gebiet der Tschechischen Republik, der Gefährdung des Gebiets der Tschechischen Republik unter dem Aspekt Wasserknappheit und Auswirkungen des angenommenen Klimawandels auf die hydrologische Bilanz aufgeführt.

### Hydrologische Trockenheit

Hydrologische Trockenheit ist eine Abweichung des Wasserkreislaufs, die insbesondere infolge eines Niederschlagsdefizits entsteht und sich in einem Rückgang der Durchflüsse in den Gewässern und einem Fallen des Grundwasserstands äußert. Ursache einer hydrologischen Trockenheit ist eine mittelfristige meteorologische Trockenheit. Die Karte in Abb. 3-2, in der die Höhe des mittleren Jahresabflusses aus Einzugsgebieten der 3. hydrologischen Ordnung für den Zeitraum 1981 – 2015 erfasst ist, verdeutlicht in etwa die Gefährdung des Gebiets der Tschechischen Republik unter dem Aspekt hydrologische Trockenheit in Oberflächengewässern.

Ferner wurden die Abflüsse für das gesamte Jahr und die Halbjahre für die Zeiträume 1961 – 1985 und 1986 – 2010 verglichen. Aus den Ergebnissen des Vergleichs geht hervor, dass es eher zu einer Stagnation oder zu einem leichten Anstieg des Abflusses für das gesamte Jahr gekommen ist. In der Regel sind die Veränderungen statistisch nicht signifikant. Unter dem Aspekt der Gefährdung im Hinblick auf hydrologische Trockenheit ist jedoch der beobachtete Trend des Abflussrückgangs im Sommer entscheidend, der im Jahresmittel durch ein Ansteigen des Abflusses im Winter kompensiert wird.

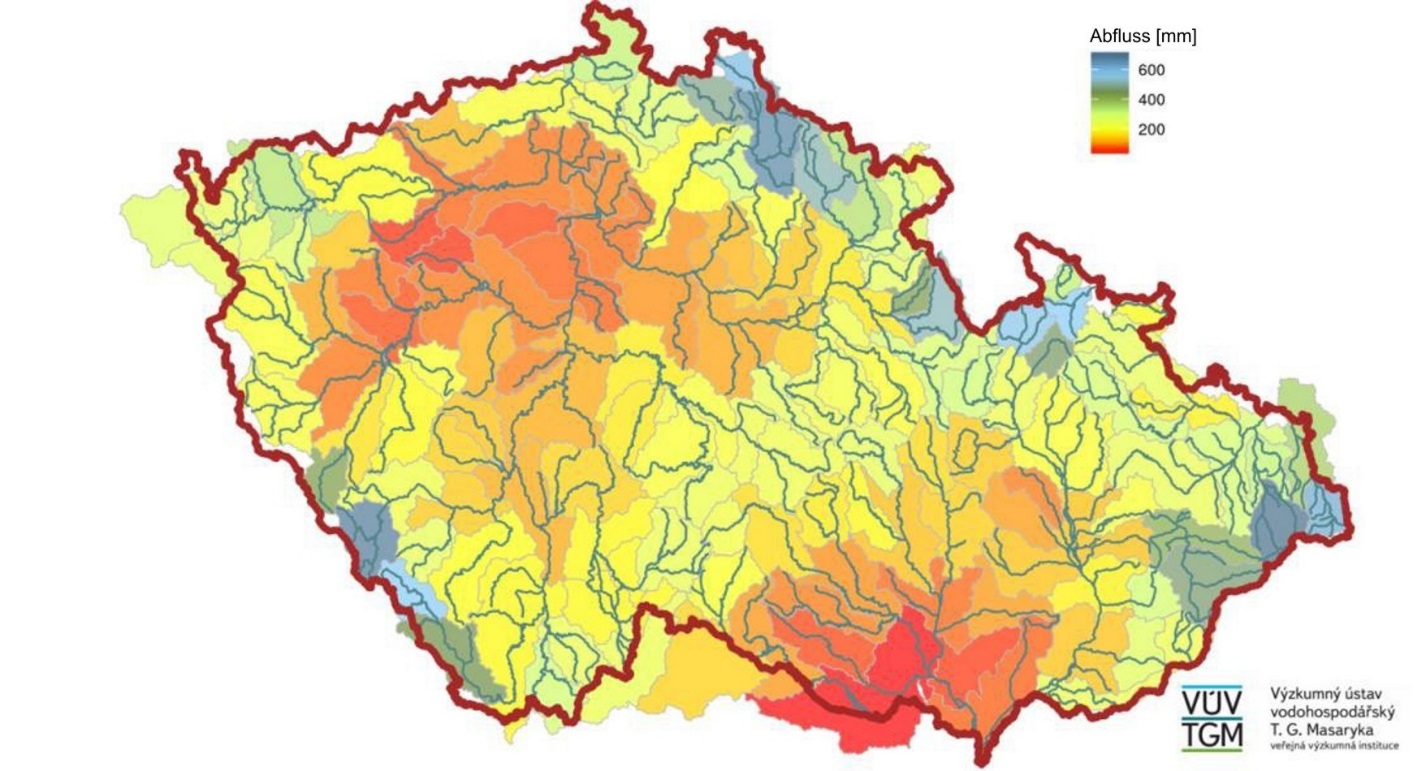


Abb. 3-2: Mittlere Jahresabflusshöhe für den Zeitraum 1981 – 2015 dargestellt in mm/Jahr   
(Quelle: VÚV)

Hydrologische Trockenheit im Grundwasser lässt sich anhand des Schwankens des Grundwasserstands oder des Basisabflusses bewerten. Der Basisabfluss ist der Teil des Abflusses in den Oberflächengewässern, der aus dem Grundwasserdargebot gespeist wird. Das Schwanken des Grundwasserspiegels lässt sich mithilfe der Ganglinie des Wasserstands in den Bohrungen oder übertragen der Höhe der Quellschüttung verfolgen. Seit 1961 gab es die bedeutendsten Niedrigwasserstände im Grundwasser Anfang der 1990er Jahre und vor allem in den Jahren 2015 und 2016. Signifikante Niedrigwasserzeiten im Grundwasser wiederholen sich annähernd in 10- bis 12-jährigen Perioden, die Intensität schwankt jedoch.

Unter dem Aspekt des Grundwasserdargebots zeigt sich ein Niedrigwasser als Reaktion auf ein Niederschlagsdefizit am schnellsten in Gebieten mit geringen Niederschlagshöhen und hoher Verdunstung in Kombination mit geringem Grundwasserdargebot und schneller Leerung des Grundwasserleiters. Diese Gebiete sind auch unter dem Aspekt der Gefährdung des Grundwassers in Trockenperioden am stärksten bedroht (siehe Abb. 3-3). Gebiete mit großem Grundwasserdargebot reagieren demgegenüber auf ein Niederschlagsdefizit mit beträchtlicher Verspätung. Dies lässt sich für das Management von Entnahmen und für Wasserüberleitungen in Trockenperioden nutzen.

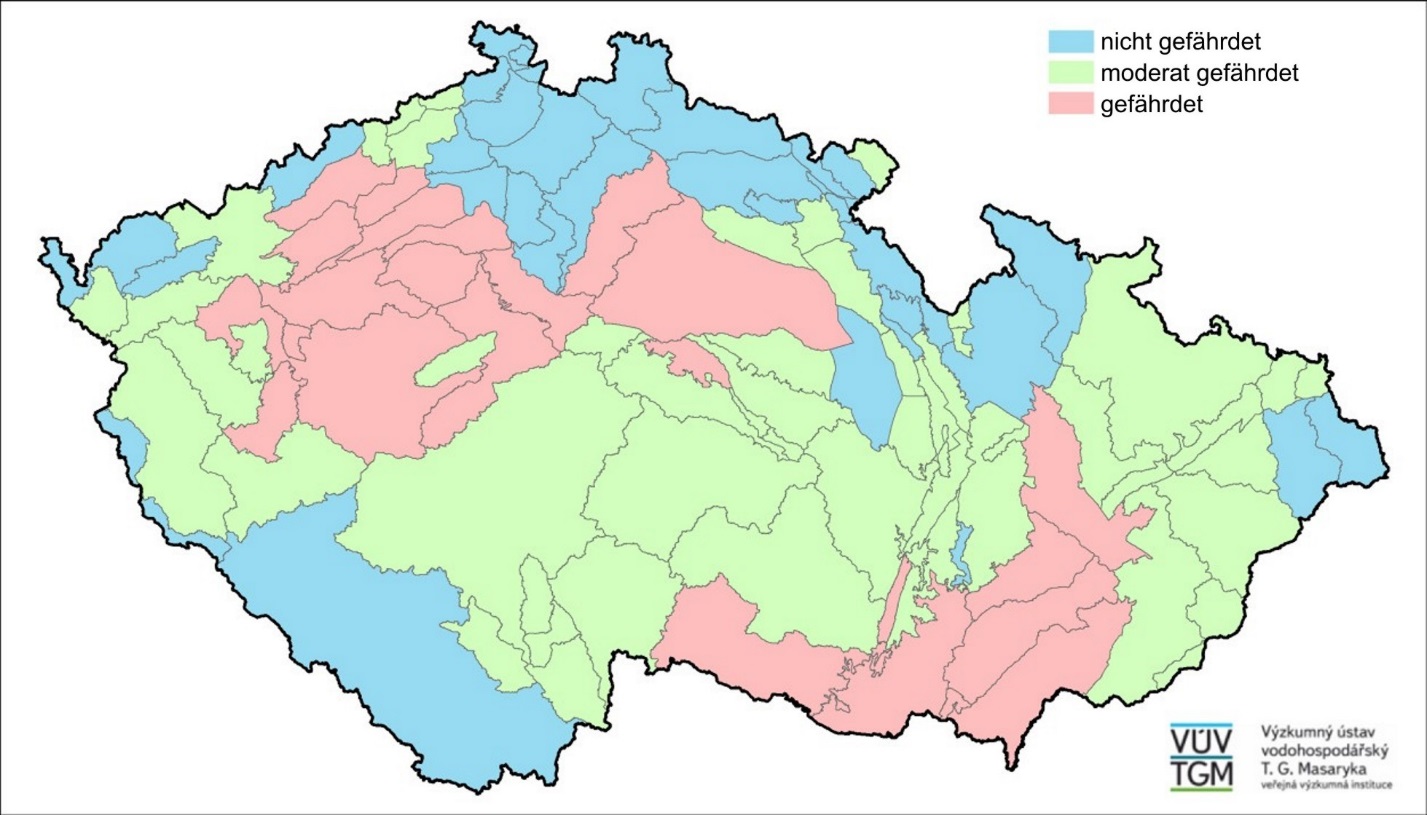
**

Abb. 3-3: Nach der Höhe des mittleren Basisabflusses im Zeitraum 1981 – 2010 festgelegte Regionalisierung der Gefährdung der hydrogeologischen Rayons unter dem Aspekt Trockenheit (Quelle: VÚV)

### Gefährdung des Gebiets unter dem Aspekt Wasserknappheit

Für die Bewertung der Gefährdung des Gebiets der Tschechischen Republik unter dem Aspekt Wasserknappheit ist es notwendig, außer Angaben über die Menge des verfügbaren Wasserdargebots auch Angaben zu den Anforderungen an Entnahmen (einschließlich Mindestwasserführung oder Mindestgrundwasserständen) sowie Informationen über die wasserwirtschaftliche Infrastruktur, die zur Gewährleistung der Anforderungen dient, zu nutzen.

Um Einzugsgebiete oder Talsperren zu identifizieren, die unter dem Aspekt Wasserknappheit potenziell gefährdet sind, kommen Methoden der wasserwirtschaftlichen Bilanz (Anforderungen an Nutzungen im Vergleich zum verfügbaren Dargebot) und der Simulationsmodellierung der Funktionen des Betriebsraums wasserwirtschaftlicher Systeme zur Anwendung. In Abb. 3-4 sind die Ergebnisse der Bewertung dargestellt. Für die Oberflächengewässer wurden die Bilanzsituationen für den Zeitraum 1999 – 2015 ausgewertet. Die vereinfachte wasserwirtschaftliche Bilanz wurde für die Abflüsse in der Periode 1986 – 2015 und für die Werte der Entnahmen im Jahr 2015 simuliert. In die Ergebnisse der Analyse wurden auch Unterlagen über das Maß der Auswirkungen der Trockenheit in den Jahren 2014 und 2015 eingearbeitet. Von den insgesamt 89 bewerteten bedeutenden Talsperren wurden im Zusammenhang mit der Erfüllung ihrer Betriebsraumfunktionen 19 als potenziell gefährdet ausgewertet, davon 10 im Einzugsgebiet der Elbe.

Für das Grundwasser wurde die Bilanz der Grundwasserentnahmen und der (mehrjährigen und jährlichen Werte) des natürlichen Dargebots für die Jahresreihe 2007 – 2015 bewertet. In Abb. 3-5 sind die unter dem Aspekt Wasserknappheit potenziell gefährdeten hydrogeologischen Rayons dargestellt.

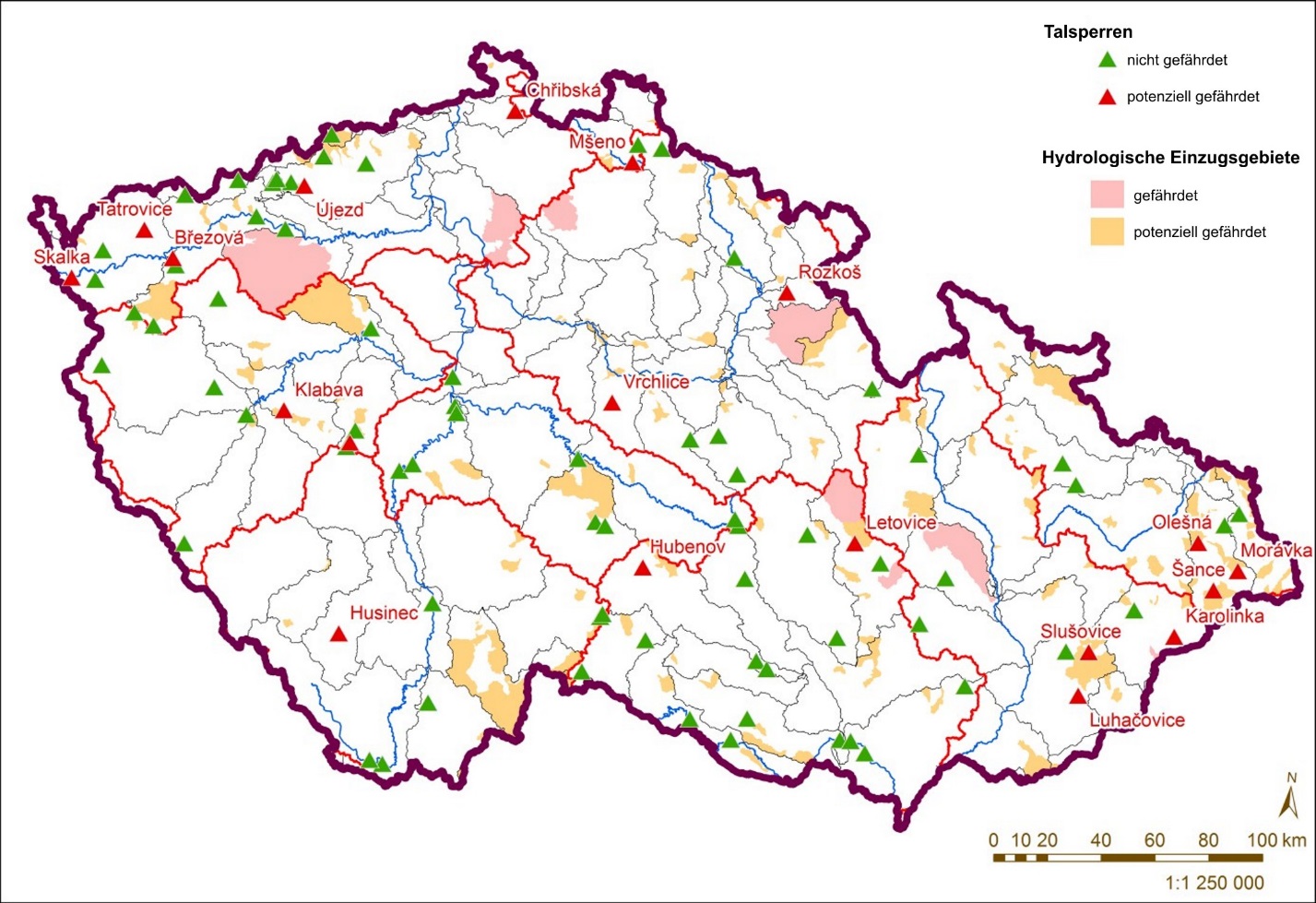


Abb. 3-4: Ergebnisse der Beurteilung der Gefährdung von Talsperren und Einzugsgebieten unter dem Aspekt Wasserknappheit (Quelle: VÚV)

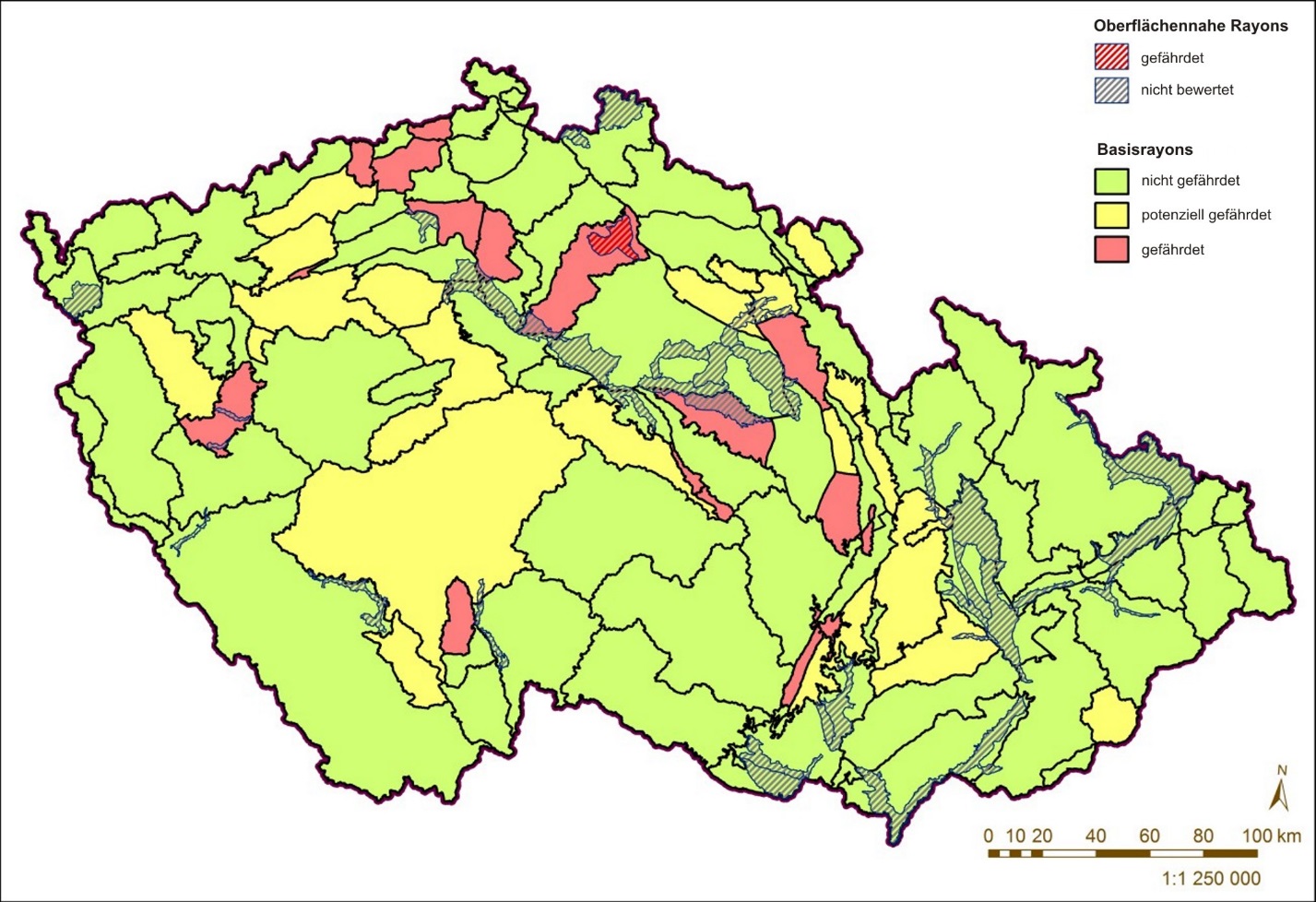


Abb. 3-5: Unter dem Aspekt Wasserknappheit potenziell gefährdete hydrogeologische Rayons (Quelle: VÚV)

### Szenarien der Klimaentwicklung – Auswirkungen auf die hydrologische Bilanz

Die natürliche Variabilität des Klimas, die anthropogenen Einflüsse auf das Klima und auch der Charakter der Nutzung der Landschaft beeinflussen das Auftreten von Trockenperioden. Für die Bewertung und Modellierung des Klimawandels werden zahlreiche Szenarien verwendet. Bei der Mehrzahl der Szenarien äußert sich der Klimawandel in einem relativ deutlichen Rückgang der Jahresabflüsse, insbesondere im Gebiet Mittel- und Nordwestböhmens. Gleichzeitig reduziert sich die verfügbare Wassermenge auch in Einzugsgebieten in höheren Lagen. Für 4 der 5 angewendeten globalen Modelle indizieren die Ergebnisse der Modellierung eine Verringerung des verfügbaren Wasserdargebots. Die Rückgänge bewegen sich im zweistelligen Prozentbereich.

Mit dem sich ändernden Klima ist eine deutliche Abnahme des Verhältnisses von Oberflächenabfluss und Niederschlägen zu erwarten, und zwar im Mittel um 10 %. Die wahrscheinliche Ausdehnung der Gebiete mit einem niedrigen Anteil des Oberflächenabflusses wird einen signifikanten Eingriff in die hydrologischen Verhältnisse an großen und kleinen Gewässern bedeuten.

Aus den Projektionen des Klimawandels in der mitteleuropäischen Region für das 21. Jahrhundert, die das Risiko länger andauernder und intensiverer Trockenperioden signalisieren, insbesondere in der Zeit von April bis September, geht hervor, dass wesentliche ungünstige Einflüsse auf die Sektoren Land-, Forst- und Wasserwirtschaft zu erwarten sind. Sehr wahrscheinlich wird die Kapazität des Wasserdargebots abnehmen und sich seine Güte verschlechtern.

Zusammenfassung der mit den Folgen des Klimawandels zusammenhängenden Probleme:

|  |  |
| --- | --- |
| Beobachtete Veränderungen des Klimas | Erhöhung der Lufttemperatur zwischen den Zeiträumen 1961 – 1985 und 1986 – 2010 im Jahresmittel sowie im Frühjahr und im Sommer annähernd um 1 °C, im Herbst um 0,6 °C und im Winter um 0,2 bis 0,5 °C. |
| Änderung der Verteilung der Niederschläge im Laufe des Jahres, wobei im Frühjahr und Sommer eher deren Rückgang, im Winter hingegen eher deren Zunahme zu beobachten ist. |
| Anstieg der potenziellen Verdunstung in den letzten 30 Jahren um annähernd 5 bis 10 %. |
| Beobachtete Veränderungen der hydrologischen Bilanz | Abnahme der Rückhaltekapazität des Bodens in der Tschechischen Republik gegenüber dem Stand vor 1950 annähernd um 40 %. |
|  | Die Wassererosion gefährdet ca. 60 % des Bodens (davon sind schon annähernd 12 % degradiert), 14 % sind durch Winderosion gefährdet, 45 % verfestigt, insbesondere im Bereich unter der Ackerkrume. Die meisten landwirtschaftlich genutzten Böden leiden an einem Mangel an organischer Masse, haben keine günstige Struktur und in vielen Fällen sinkt der pH-Wert. Alle diese Fakten werden auch von einer geringeren Besiedlung des Bodens mit Organismen begleitet. |
| Zunahme der Anzahl der Tage mit unzureichender Feuchtebilanz zwischen den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2014 in der Mehrzahl der Gebiete in Höhen unter 600 m ü. NN im Mittel um 10 bis 15 Tage in der Zeit von April bis Juni. |
| Beobachteter Rückgang des Abflusses im Sommer, der im Jahresmittel durch die Zunahme des Abflusses im Winter kompensiert wird. |
| Fallender Trend der Quellschüttungen in den hydrogeologischen Rayons, insbesondere in Mittelböhmen. |

### Zum Schutz vor den Folgen von Trockenheit und vor Wasserknappheit durchgeführte Maßnahmen

Im Rahmen des Bündels von Aufgaben, die mit dem Beschluss der Regierung Nr. 620 vom 29.06.2015 bestätigt wurden, erarbeiteten die staatlichen Wasserwirtschaftsbetriebe für die Elbe und die Moldau (Povodí Labe, státní podnik; Povodí Vltavy, státní podnik) eine Übersicht mit konkreten Maßnahmen zur Stärkung der Funktionen des Betriebsraums von Talsperren und zur Eindämmung der negativen Auswirkungen von Trockenheit, die in den Bewirtschaftungsplänen der Talsperren zur Anwendung kommen. Im Ergebnis der neuen wasserwirtschaftlichen Lösung wurde anschließend ein Vorschlag für Änderungen in den Bewirtschaftungsplänen bedeutender Talsperren unterbreitet.

Ferner wertete der staatliche Wasserwirtschaftsbetrieb für die Elbe in Zusammenarbeit mit den Bezirksverwaltungen das Potenzial der Teileinzugsgebiete unter dem Aspekt möglicher Wasserüberleitungen aus und benannte geeignete Standorte für Überleitungen aus für die Bilanz aktiven Teilen von Einzugsgebieten in für die Bilanz passive Teile anderer Einzugsgebiete in folgendem Umfang:

* Erhöhung der Bedeutung des Isergebirges für die Trinkwasseraufbereitung unter Nutzung von Überleitungen aus dem Bach Jelení potok und der Talsperre Bedřichov in die Talsperre Josefův Důl,
* Stärkung der Speicherfunktion der Talsperre Rozkoš durch den Bau einer Überleitung aus der Metuje,
* Beurteilung der vorhandenen Möglichkeiten für eine Wasserüberleitung aus der Bělá in die Dědina und Zusammenstellung zukünftiger Lösungsvarianten nach dem Bau der Talsperre Skuhrov,
* Studie zur Suche nach Überleitungen in das defizitäre Einzugsgebiet der Cidlina.

In Übereinstimmung mit dem Konzept wurde eine Machbarkeitsstudie für den Bau der Mehrzwecktalsperre Pěčín an der Zdobnice mit einem Gesamtstauraum von 17,1 Mio. m3 erarbeitet, deren Umsetzung zu einer stärkeren Absicherung der Versorgung des Ostböhmischen Trinkwasserversorgungssystems und zum Schutz der Bevölkerung vor Hochwasserabflüssen mit einem Wiederkehrintervall von 20 Jahren (HQ20) im Abschnitt der Zdobnice unterhalb der Talsperre führen würde.

Der staatliche Wasserwirtschaftsbetrieb für die Moldau befasst sich mit der Wasserknappheit (Trockenheit) in der Stadt Rakovník und Umgebung im Einzugsgebiet des Baches Rakovnický potok. Entwickelt wurde das Pilotprojekt „Möglichkeiten zur Minderung der gegenwärtigen Folgen des Klimawandels durch die Verbesserung des Speichervermögens im Einzugsgebiet des Baches Rakovnický potok“, das von 2009 bis 2012 vom Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T. G. Masaryk (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i. – VÚV) und der Tschechischen Landwirtschaftlichen Universität (ČZU) in Prag gemeinsam bearbeitet wurde.

In der Tschechischen Republik gehört die Rakovníker Region zu den Gebieten, in denen in den letzten Jahrzehnten ein spürbarer Klimawandel zu verzeichnen ist. Der Rakovnický potok ist ein linksseitiger Nebenfluss der Berounka, die Fläche des gesamten Einzugsgebiets beträgt 344 km2. Forschungsgegenstand war das Einzugsgebiet oberhalb des Pegels Rakovník mit einer Fläche von 302 km2. Dieses Einzugsgebiet liegt ca. 315 bis 600 m ü. NN hoch, die mittlere Geländeneigung beträgt 7 %. Von Bedeutung ist das hohe Maß an landwirtschaftlichen Nutzungen, 59 % der Fläche als Ackerboden, 18 % sind bewaldet. Im Einzugsgebiet befinden sich ca. 85 kleine Stauseen, deren reale Fläche ca. 114 ha, d. h. 0,33 % des Einzugsgebiets, einnimmt.

Das Rakovníker Gebiet ist durch die niedrigsten langjährigen Niederschläge in Böhmen charakterisiert. Unter dem Gesichtspunkt der klimatischen Verhältnisse ist die beträchtliche Variabilität der langjährigen Niederschläge im Einzugsgebiet in der Fläche von Bedeutung. Die Spanne der Jahresniederschläge reicht von 484 bis 584 mm. Selbst wenn die Jahresniederschläge nur sehr leicht abnehmen, hat sich deren Verteilung etwas verändert. Im Frühjahr von April bis Juni ist ein bedeutender Rückgang der Niederschläge zu verzeichnen. Die Lufttemperatur weist von 1960 bis 2008 einen deutlichen steigenden Trend auf, innerhalb der 49 Jahre stieg sie um 1,4 oC.

Die für 43 Jahre vorliegenden Beobachtungsergebnisse am Pegel Rakovník zeigen einen deutlich fallenden Trend der Abflüsse und die Aufrechterhaltung der wasserwirtschaftlichen Bilanz wird als passiv charakterisiert. Aus der Analyse des Jahresgangs geht hervor, dass die Rückgänge im Frühjahr und Sommer größer als im Herbst sind und die Abflüsse im Winter am wenigsten abnehmen. Bestätigt wird ebenfalls der fallende Trend der Grundwasserstände in den vom Tschechischen Hydrometeorologischen Institut (ČHMÚ) beobachteten Bohrungen, wobei selbst der Rückgang der Entnahmen für die Trinkwasserversorgung seit den 1990er Jahren zu keiner Änderung führte. Die Entnahmen aus dem Grundwasser betrugen 2008 ca. 85 l/s, aus dem Oberflächenwasser erreichten sie nicht einmal 2 l/s. Aus außerhalb gelegenen Quellen wird kein Wasser in das Einzugsgebiet geleitet und aus ihm auch kein Wasser abgeleitet, sodass man es unter dem Gesichtspunkt der Gewässernutzungen als ein geschlossenes System ansehen kann.

Mit dem Pilotprojekt wurden mögliche Anpassungsmaßnahmen zur Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Bilanz in der Rakovníker Region in drei Grundrichtungen entwickelt, mit rein wasserwirtschaftlichen Mitteln, d. h. durch den Bau von Stauseen mit Betriebsraumfunktion an ausgewählten Standorten, ggf. durch Wasserüberleitung aus dem benachbarten Einzugsgebiet der Eger sowie auch durch Maßnahmen in der Landschaft, insbesondere organisatorischer, agrotechnischer und biotechnischer Art.

Der staatliche Wasserwirtschaftsbetrieb für die Moldau knüpfte an diese entwickelten Anpassungsmaßnahmen mit der schrittweisen Vergabe entsprechender Studien an. Ergebnis dervon 2013 bis 2014 bearbeiteten „Machbarkeitsstudie für Stauseen im Einzugsgebiet des Baches Rakovnický potok“ war eine Empfehlung zur Realisierung von zwei ausgewählten kleinen Stauseen. Dazu wurden 2016 bereits ausführliche Machbarkeitsstudien erstellt. Eine weitere im Pilotprojekt unterbreitete Möglichkeit, die wasserwirtschaftliche Bilanz des Einzugsgebiets des Rakovnický potok zu stärken, wurde durch die staatlichen Wasserwirtschaftsbetriebe für die Eger und die Moldau (Povodí Ohře, státní podnik; Povodí Vltavy, státní podnik) mit der Vergabe der gemeinsamen Studie „Wasserüberleitung aus dem Einzugsgebiet der Eger in das Einzugsgebiet der Blšanka und des Baches Rakovnický potok“ weiter untersetzt. Ende 2016 war die Studie fertig. Ihr wichtigstes Ergebnis sind Vorschläge für drei Investitionsvorhaben mit dem Ziel, an die notwendigen Orte nach und nach Wasser zu pumpen.

## Deutschland

Das Niedrigwasser 2015 im deutschen Einzugsgebiet der Elbe war nicht so extrem wie im tschechischen Einzugsgebiet. Die Talsperren im Elbeeinzugsgebiet haben in den Sommermonaten zur deutlichen Verbesserung der Abflusssituationen in den unterhalb liegenden Flussabschnitten beigetragen. Die Wasserentnahmen zu Trinkwasserzwecken und für Brauchwasser mussten während des gesamten Jahres 2015 nicht eingeschränkt werden. Auch die Grundwasservorräte waren ausreichend verfügbar, sodass keine spezifischen Anpassungsmaßnahmen im Hinblick auf die Wasserversorgung erforderlich waren. In Folge des Niedrigwassers kam es aber auch auf dem deutschen Elbeabschnitt zu massiven Einschränkungen für die Schifffahrt.

In naher Zukunft wird auch für das deutsche Einzugsgebiet der Elbe erwartet, dass der globale Temperaturanstieg infolge erhöhter Treibhausgasemissionen zu einer veränderten Dynamik des hydrologischen Kreislaufs und in der Folge zu Konsequenzen für die Wasserwirtschaft führt.

Seit 2008 setzt die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) zusammen mit dem 2011 verabschiedeten Aktionsplan Anpassung I (APA I) den politischen Rahmen für die Aktivitäten der Bundesregierung, um den Folgen des Klimawandels zu begegnen. Dazu gehören auch Maßnahmen gegen Trockenheit und Niedrigwasser, die u. a. im Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel[[5]](#footnote-5) erläutert sind.

Anpassungsstrategien können nur entwickelt werden, wenn die Untersuchungen der Folgen des Klimawandels und ergriffener Anpassungen durch die Bereitstellung von systematisch beobachteten Informationen unterstützt werden. Bereits im Rahmen der DAS wurde ein Monitoringsystem entwickelt, das auf Bundesebene einen Überblick über die Auswirkungen des Klimawandels und über die in den jeweiligen Bereichen bereits initiierten Anpassungsprozesse gibt.

Einen Überblick zeigt die folgende Abbildung 3-6 aus dem Fortschrittsbericht zur DAS. Es werden die regionalen Betroffenheiten und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels in Deutschland in naher Zukunft dargestellt.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Regionen mit**  **warmem Klima**  Regionen gekennzeichnet von Hitze und Trockenheit   * In Zukunft:   + Räumliche Ausdehnung   + Besonders starker Anstieg von heißen Tagen und Tropennächten * Ende des Jahrhunderts:   + Stärkere Hitzewellen, voraussichtlich zunehmend mit Trockenheit verbunden   + Weitere räumliche Ausdehnung * Betroffene Handlungsfelder:   + Menschliche Gesundheit   + Forstwirtschaft   + Landwirtschaft   + Verkehr, Verkehrsinfrastruktur | G:\Abt4\Ref45\106_IKSE\Niedrigwasserstatistik\NW Indikatoren\Schwerpunkte_KW.jpg | | **Regionen mit**  **Mittelgebirgsklima**  Regionen mit großer Anzahl an Tagen mit Frost und Starkregen, hohe Sommer- und Winterniederschläge   * In Zukunft:   + Zunahme der Niederschläge in Wintermonaten, seltener als Schneefall   + Höhere Durchschnittstemperaturen im Sommer und Winter * Betroffene Handlungsfelder:   + Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt   + Tourismus |
| **Regionen mit**  **trockenerem Klima**  Trockenste Regionen Deutschlands durch ganzjährig unterdurchschnittliche Niederschläge, bei starken jahreszeitlichen Schwankungen von Temperatur und Niederschlag   * In Zukunft weitere Beschränkung der Wasserressource durch:   + Trend zu höheren Sommer- und Wintertemperaturen   + Zunahme der heißen Tage und Tropennächte * Betroffene Handlungsfelder:   + Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt   + Landwirtschaft   + Forstwirtschaft | **Regionen mit**  **Gebirgsvorlandklima**  Regionen mit überdurchschnittlichen Sommerniederschlägen, großer Anzahl von Tagen mit Frost und Starkregen   * In Zukunft:   + Zunahme der Sommertage und der Anzahl der heißen Tage   + Verstärkung der Auswirkungen durch projiziertes Siedlungs- und Verkehrsflächenwachstum * Ende des Jahrhunderts: * Betroffene Handlungsfelder:   + Menschliche Gesundheit   + Energiewirtschaft |
| **Regionen mit**  **kühlerem Klima**  Regionen mit gemäßigten Temperaturen, großer Anzahl an Tagen mit Starkregen und Starkwind, geringe Anzahl an Frosttagen und Trockentagen   * In Zukunft:   + Anstieg des Schadenspotenzials durch Extremereignisse z. B. Flusshochwasser * Ende des Jahrhunderts:   + Häufigeres Auftreten von Sturmfluten durch Meeresspiegelanstieg   + Weitere räumliche Ausdehnung * Betroffene Handlungsfelder:   + Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt   + Küsten- und Meeresschutz   + Landwirtschaft   + Verkehr, Verkehrsinfrastruktur   + Bauwesen   + Industrie und Gewerbe   © adelphi, PRC, EURAS2015 | **Handlungsfeldübergreifende Schwerpunkte der Folgen des Klimawandels** | | **Regionen mit**  **Gebirgsklima**  Regionen mit vielen Tagen mit Starkregen und Frost, hohe Niederschlagswerte   * In Zukunft:   + Zunahme von Starkregenereignissen und Winterniederschlägen, Abnahme der Sommerniederschläge   + Überdurchschnittliche starke Erwärmung * Betroffene Handlungsfelder:   + Biologische Vielfalt   + Wasserwirtschaft, Wasserhaushalt   + Bauwesen   + Verkehr, Verkehrsinfrastruktur   + Industrie und Gewerbe   **Verdichtungsräume laut Ministerkonferenz für Raumordnung**  **Überschwemmungs-gefährdete Flächen durch Flusshochwasser**  **Überschwemmungs-gefährdete Flächen durch Sturmhochwasser** |
| **Schäden durch ansteigende Hitzebelastung in Verdichtungsräumen** | **Beeinträchtigung durch zunehmende Erwärmung und Sommertrockenheit** |
| * Verdichtungsgebiete in warmen Regionen * Betroffene Cluster: v. a. Gesundheit, Infrastruktur | * Regionen mit warmem und trochkenem Klima in Ostdeutschland umd im Rheingebiet * Betroffene Cluster: v. a. Wasser, Land , Infrastruktur |
| **Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Starkregen und Sturzfluten** | **Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Flussüberschwemmung** |
| * Verdichtungsgebiete im nordwestdeutschen Tiefland, Mittelgebirde und Voralpenraum * Betroffene Cluster: v. a. Wasser, Infrastrukturen, Wirtschaft | * Verdichtungsgebiete in Flusstälern des Norddeutschen Tielflands * Betroffene Cluster: v. a. Wasser, Infrastrukturen, Wirtschaft |
| **Veränderung der Artenzu-sammensetzung und natürlicher Entwicklungsphasen durch graduellen Temperaturanstieg** | **Schaden an Küsten durch Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten** |
| * Meere und ländlicher Raum * Betroffene Cluster: v. a. Gesundheit, Land, Wasser | * Küstengebiete * Betroffene Cluster: v. a. Wasser, Infrastrukturen, Wirtschaft |
|  | | | |

Abb. 3-6: Regionale Betroffenheit und handlungsfeldübergreifende Folgen des Klimawandels[[6]](#footnote-6)

Das Monitoringsystem wird im Prozess der Fortschreibung überprüft und weiterentwickelt, um neue Erkenntnisse und Daten zu integrieren. Aktuell wird an der Weiterentwicklung der DAS-Monitoring-Indikatoren insbesondere zum Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz gearbeitet. Aber auch die Bundesländer entwickeln zunehmend Monitoringsysteme zu Klimafolgen und Anpassung, die zu berücksichtigen sind.

Im Rahmen der Bund/Ländergemeinschaft Wasser (LAWA) wird deshalb konkret seit Mitte 2016 daran gearbeitet, die wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in den vorhandenen Monitoring-Programmen der einzelnen Bundesländer zu überprüfen und Empfehlungen für eine Vereinheitlichung der Monitoring- und Indikatorenkonzepte auszusprechen[[7]](#footnote-7). Dabei wurden Indikatoren u.a. in folgenden Themenfeldern überprüft:

* Hydrologie: Mittlerer Abfluss, Niedrigwasser, Hochwasser;
* Grundwasser: Menge und Beschaffenheit;
* Standgewässer: Wassertemperatur, Dauer der Stagnationsperiode, Eintreten der Frühjahrsalgenblüte, Blaualgenbelastung von Badegewässern;
* Fließgewässer: Wassertemperatur, KLIWA-IndexMZB als biozönotischer Indikator, Bewirtschaftung: Erneuerbare Ressourcen und Wasserhaushalt, Wassernutzungsindex.

Mittelfristiges Ziel ist ein optimiertes und konsistentes Vorgehen zwischen Bund und Ländern sowie zwischen den Bundesländern. Dabei sollten die den Indikatoren zugrunde liegenden Wirkungszusammenhänge erläutert, Anwendungsbedingungen und Auswertungsvorgaben definiert sowie Auswahlkriterien für ein Messnetz oder Pegel formuliert werden. Bei der Weiterentwicklung der bestehenden Indikatoren sollten auch europäische und internationale Aktivitäten berücksichtigt werden.

Dort werden keine komplizierten Indizes untersucht (allerdings auch nicht Dürresituationen, wo der Fokus auf Witterung liegt), sondern man schaut nach Niedrigwasser in den Flüssen. Als zu untersuchende Kenngrößen genügen NMxQ, maxD und sumD (DVWK-Regel 120 u. 121), dies nach eingebettet in Wahrscheinlichkeitsanalysen, also T-jährliche Abflüsse wie NM7Q(T) oder Dauern maxD(T).

1. Weitere Informationen und Ergebnisse zur Bewertung der Niedrigwassersituation 2015 stehen in der Publikation der IKSE:   
   Hydrologische Auswertung der Niedrigwassersituation 2015 im Einzugsgebiet der Elbe [↑](#footnote-ref-1)
2. Quelle: Hydrologische Niedrigwasserkenngrößen der Elbe und bedeutender Nebenflüsse (IKSE, 2012)  
   http://www.ikse-mkol.org/fileadmin/media/user\_upload/D/06\_Publikationen/07\_Verschiedenes/2012\_IKSE-Niedrigwasserkenngroessen.pdf [↑](#footnote-ref-2)
3. Quelle: McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J.: The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim (CA), 17–22 January 1993, 179–184. [↑](#footnote-ref-3)
4. Die Einzelheiten ihrer Festlegung führt Vlnas, R. et al. (2015) auf: Metodika pro stanovení mezních hodnot indikátorů hydrologického sucha (Methodik zur Festlegung von Grenzwerten für Niedrigwasserindikatoren). VÚV T.G.M., v. v. i., Prag, Dezember 2014, http://185.8.238.196/sucho/wp-content/uploads/2016/11/metodika\_Indikatory\_sucha.pdf , [cit. 2015-11-17] [↑](#footnote-ref-4)
5. Bundesregierung 2015: Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Stand 16.11.2015 (http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\_BMU/Download\_PDF/  
   Klimaschutz/klimawandel\_das\_fortschrittsbericht\_bf.pdf) [↑](#footnote-ref-5)
6. Quelle der Abbildung: Bundesregierung 2015: Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Stand 16.11.2015 (http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\_BMU/Download\_PDF/  
   Klimaschutz/klimawandel\_das\_fortschrittsbericht\_bf.pdf) [↑](#footnote-ref-6)
7. LAWA 2017: Entwurf Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Überprüfung und Handlungsempfehlungen, Herausgeber: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Stand: 25.09.2017 [↑](#footnote-ref-7)