

## Restoration of Groundwater Levels in the Rhineland Lignite Basin

When an opencast lignite mine is closed the artificially lowered groundwater essentially has to be restored to its pre-mining level as quickly as possible. This means taking account not only of the impact that mining operations have had on the water landscape but also of any local infrastructural features and housing devel-

opments. The various hydrological problems and responsibilities associated with such an operation are presented and discussed below from the perspective of the Rhineland lignite mining area. This paper is an updated version of an article of the same title that was published in *Wasserwirtschaft* (no. 4, 2017).

## Themen des Grundwasserwiederanstiegs im Rheinischen Braunkohlenrevier

Nach dem Ende eines Braunkohlentagebaus soll das abgesenkte Grundwasser grundsätzlich möglichst schnell wieder auf den vorbergbaulichen Zustand ansteigen. Dabei sind jedoch sowohl bergbauliche Einwirkungen auf die Wasserlandschaft als auch infrastrukturelle und siedlungsbezogene Aktivitäten des Menschen zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ergeben

sich verschiedene wasserwirtschaftliche Aufgabenstellungen und Verantwortlichkeiten, die hier für das Rheinische Braunkohlenrevier dargestellt und diskutiert werden. Der Beitrag ist eine aktualisierte Version des unter gleichem Titel in der Zeitschrift *Wasserwirtschaft* 4/2017 veröffentlichten Artikels.

### 1 Introduction

The hydrological conditions present in the Rhineland lignite mining region have been very much influenced by the area's opencast workings and the groundwater lowering operations that were deemed necessary. This will continue to apply not only until the deposits have been extracted as planned but also for some considerable time beyond that. The various water management authorities and other bodies operating in the surrounding areas have long been aware of the responsibilities that are involved here. Water experts have in some cases been engaged for several decades in thinking through the situation and drawing up final plans in conjunction with the relevant approval authorities so that hydrological conditions can be restored for the long term to create a balanced scenario that will present no adverse effects for man, nature and the environment. The most prominent and hotly debated theme of all has been the restoration of groundwater levels and this is the subject that will be dealt with below. Residual lakes and spoil-tip effluent are also themes of crucial significance for the post-mining landscape (5).

In view of the long-term nature of this process – the restoration of groundwater levels will take several decades and in some areas will not be concluded until after 2100 – it is understandable that information needs to be provided as to how the mining sector intends to meet these requirements in a professional manner and ensure that this continues to be done over such a long pe-

### 1 Einführung

Die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Rheinischen Braunkohlenrevier werden von den dort befindlichen Braunkohlentagebauen und den dafür notwendigen Grundwasserabsenkungen geprägt. Dies gilt nicht nur bis zur planmäßigen Auskohlung der Tagebaue, sondern auch noch deutlich darüber hinaus. Den verschiedenen Akteuren der Wasserwirtschaft im Umfeld des Braunkohlenbergbaus ist und war dabei stets bewusst, welche Verantwortung damit verbunden ist. Damit auch langfristig wieder wasserwirtschaftliche Verhältnisse vorliegen, die ausgeglichen sind und von denen keine Beeinträchtigung für Mensch, Natur und Umwelt ausgehen, müssen die Wasserexperten zum Teil einige Jahrzehnte im Voraus die Sachverhalte gemeinsam mit den zuständigen Genehmigungsbehörden bis zum Ende durchdenken und durchplanen. Das wohl prominenteste und heute meistdiskutierte Thema ist hierbei der Grundwasserwiederanstieg, der in diesem Beitrag behandelt wird. Weitere bedeutsame Themen der Bergbaufolgelandschaft sind die Tagebauseen und der Abstrom von Kippenwasser (5).

Angesichts der Langfristigkeit dieses Themas – der Grundwasserwiederanstieg wird einige Jahrzehnte andauern und bereichsweise erst nach dem Jahr 2100 abgeschlossen sein – ist es nachvollziehbar, dass Informationsbedarf darüber besteht, wie der Bergbau dem oben formulierten Anspruch fachlich gerecht werden und dies über einen so langen Zeitraum auch sicherstel-

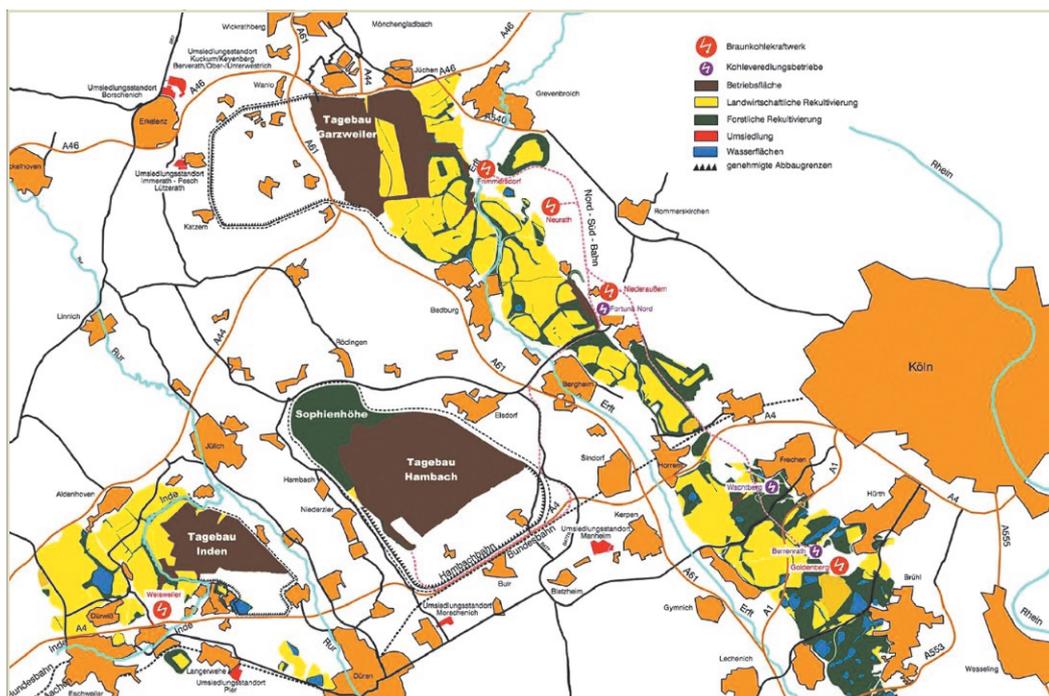


Fig. 1. The Rhineland lignite basin in 2015. // Bild 1. Das Rheinische Braunkohlenrevier, Stand 2015. Source/Quelle: RWE Power AG

riod of time. Even though this subject has already been incorporated in the current approvals, we will in the coming years see a number of legal guidelines being laid down for the configuration of post-mining water-resource conditions. The following remarks therefore constitute an overall assessment of the circumstances associated with the restoration of groundwater levels and the plans being laid by the Rhineland water industry – the aim being not only to provide some answers to questions being posed in (specialist) public circles but also to facilitate a more objective debate of these inherently long-term issues.

## 2 The Rhineland lignite basin

The Rhineland lignite basin lies within the triangle formed by the three cities of Cologne, Aachen and Mönchengladbach. The area's three active opencast mines of Garzweiler, Hambach and Inden (Figure 1) together produce some 90 Mt of lignite a year. About 85% of this is used for producing electricity at the nearby lignite-fuelled power stations, while the remainder is processed by the industry into a variety of fuel products. As well as these three operational mines the area also has a number of recultivated mining sites. These include the former Zukunft mine in the western part of the basin, west of the still-active Inden mine, and the former mines of Fortuna Garsdorf, Frechen and Bergheim along the route of the Ville towards the east. There are also a number of smaller, restored mining sites to the south (Zülpich, Echtz). These former opencast mines have mainly been recultivated for forestry and agricultural purposes, though a few of these sites also include small lakes, some infrastructure, industrial parks and residential developments.

While Inden mine is expected to cease production in 2030 lignite will continue to be extracted at Garzweiler and Hambach until around the middle of the century, according to current licensing arrangements. This operational period will certainly be shortened if the recommendations of the Commission on Growth, Structural Change and Employment are put into effect. However,

len will. Auch wenn dieses Thema bereits in den vorhandenen Genehmigungen verankert ist, werden in den nächsten Jahren die genehmigungsrechtlichen Weichen für die konkrete Gestaltung der nachbergbaulichen wasserwirtschaftlichen Verhältnisse gestellt werden. Die nachfolgenden Ausführungen geben daher eine Übersicht über die mit dem Grundwasserwiederanstieg verbundenen Sachverhalte und bestehenden Planungen der Wasserwirtschaft im Rheinischen Revier – mit dem Ziel, dass damit nicht nur in der (Fach-)Öffentlichkeit Fragen beantwortet werden können, sondern auch ein Beitrag zur Versachlichung der naturgemäß mit langfristigen Fragestellungen immer verbundenen Diskussionen erreicht wird.

## 2 Das Rheinische Braunkohlenrevier

Das Rheinische Braunkohlenrevier befindet sich im Städtedreieck Köln-Aachen-Mönchengladbach. Hier werden derzeit aus den aktiven Tagebauen Garzweiler, Hambach und Inden (Bild 1) jährlich ca. 90 Mio. t Braunkohle gewonnen. Ca. 85% davon dienen der Verstromung in den naheliegenden Braunkohlenkraftwerken – der übrige Anteil wird in eigenen Fabriken zu diversen energetischen Produkten veredelt. Neben den o.g. aktiven Tagebauen existieren noch einige bereits rekultivierte Tagebaue. Im Westen des Reviers ist dies der ehemalige Tagebau Zukunft westlich des Tagebaus Inden, im Osten des Reviers sind dies die ehemaligen Tagebaue entlang der Ville, z.B. Fortuna Garsdorf, Frechen, Bergheim. Zudem gibt es auch im Süden des Reviers einige kleinere rekultivierte Tagebaue (Zülpich, Echtz). Diese ehemaligen Tagebaue sind vorwiegend forstlich und landwirtschaftlich rekultiviert worden, aber auch einige kleinere Seen, Infrastruktur, Gewerbegebiete und Siedlungen befinden sich mittlerweile auf den Flächen der ehemaligen Tagebaue.

Während der Tagebau Inden bereits um 2030 ausgekohlt sein wird, sollte der Braunkohlenabbau in den Tagebauen Garzweiler und Hambach nach den aktuell gültigen Genehmigungen noch bis circa Mitte dieses Jahrhunderts andauern. Bei einer Umset-

the operations to restore groundwater levels, as described below, will continue irrespective of these developments.

### 3 Groundwater restoration

#### 3.1 Basic mechanism and long-term groundwater depth

The groundwater has to be lowered in order to be able to extract lignite from the mines. This groundwater flows through a series of different water-bearing horizons (aquifers), with a distinction being made between the overlying aquifer (above the lignite) and the underlying aquifer (beneath the lignite). The groundwater aquifers are separated by individual aquicludes, such as coal seams, clay beds and layers of silt. They may also be delimited by large geological faults, hard rock and major watercourses. The three opencast mines of Hambach, Inden and Garzweiler are all separated from each other by geological faults of this kind and are associated with different geological sub-systems (fault blocks). Garzweiler mine lies in the Venlo fault block, Hambach is in the Erft fault block and Inden is in the Rur fault block. Groundwater levels in the individual fault blocks are dominated by the drainage of the opencast workings located in each block. In a few areas there is also some slight degree of interaction between the fault blocks, which can be determined by means of groundwater measurements and modelling. The entire groundwater regime across the fault-block system has been reproduced in the groundwater model by RWE Power AG, Bergheim/Germany, that has been developed over a number of years with the help of the authorities and other expert bodies. This model has won widespread recognition in professional circles.

The drainage measures essentially involve lowering the water table in the beds above the lignite measures to the base of the groundwater aquiclude in order to prevent any hydraulic pressure from acting on the sloping faces of the workings and potentially altering their shape. The pressure is also reduced in the floor beds beneath the lignite in order to eliminate floor breakup. These groundwater lowering measures cannot be limited to the confines of the mine in question, with the result that in some cases their impact will be felt well beyond the limits of the mine

zung der durch die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung ausgesprochenen Empfehlungen wird sich dieser Zeitraum verkürzen. Inhaltlich bleiben die im Nachfolgenden beschriebenen Themen des Grundwasserwiederanstiegs jedoch unabhängig davon bestehen.

### 3 Grundwasserwiederanstieg

#### 3.1 Grundsätzlicher Mechanismus und langfristiger Grundwasserflurabstand

Zur Förderung der Braunkohle im Tagebau muss das Grundwasser abgesenkt werden. Das Grundwasser fließt in verschiedenen Grundwasserleitern, wobei zwischen den Hangend-Grundwasserleitern (oberhalb der Kohle) und den Liegend-Grundwasserleitern (unterhalb der Kohle) unterschieden wird. Die Grundwasserleiter werden durch einzelne Grundwasserstauer getrennt, wie z. B. Kohleflöze, Ton- oder Schluffschichten. Daneben werden Grundwasserleiter durch größere geologische Verwerfungen, das Festgestein oder große Vorfluter begrenzt. Die drei Tagebaue Hambach, Inden und Garzweiler sind alle durch solche geologische Verwerfungen voneinander getrennt und werden unterschiedlichen geologischen Teilräumen (Schollen) zugeordnet. So befindet sich der Tagebau Garzweiler in der Venloer Scholle, der Tagebau Hambach in der Erft-Scholle und der Tagebau Inden in der Rur-Scholle. Die Grundwasserstände in den einzelnen Schollen werden durch die Entwässerung des in der jeweiligen Scholle befindlichen Tagebaus dominiert. Bereichsweise gibt es auch geringe Wechselwirkungen zwischen den Schollen, welche sich über Grundwassermessungen und -modellierung bestimmen lassen. Das gesamte schollenübergreifende Grundwasserregime wird im Grundwassermodell der RWE Power AG, Bergheim, abgebildet, welches über Jahre unter Begleitung der Behörden und weiterer Experten entwickelt wurde und in der wasserwirtschaftlichen Fachwelt hoch anerkannt ist.

Für die Entwässerung gilt grundsätzlich, dass im Hangenden über der Braunkohle der Gebirgswasserspiegel bis auf die Unterkante der jeweiligen Grundwasserstauer abgesenkt wird, um einen Strömungsdruck auf die Böschungen und dadurch mögliche Böschungsumbildungen zu vermeiden.

Im Liegenden der Braunkohle wird der Druck ebenfalls reduziert, um Sohlenaufbrüche auszuschließen. Die Grundwasserabsenkung kann dabei nicht auf den eigentlichen Tagebaubereich begrenzt werden, so dass sich die Grundwasserabsenkung teilweise deutlich über die Tagebaugrenzen hinaus erstreckt (Bild 2). Zum Schutz der Ökologie wird nördlich vom Tagebau Garzweiler die Grundwasserabsenkung durch Infiltration von Sumpfungswasser räumlich begrenzt.

Die Grundwasserabsenkung wirkt dabei – trotz des sukzessiven Rückgangs bzw. der Einstellung der Sumpfungmaßnahmen nach der Auskohlung der Tagebaue und der beschleunigten Wiederauffüllung der Grundwasserkörper

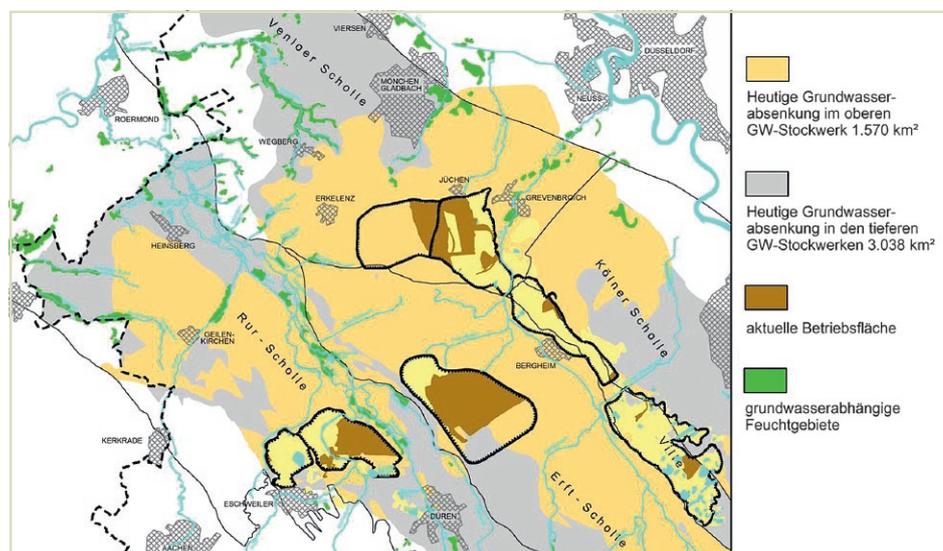


Fig. 2. Groundwater lowering operations in the Rhineland lignite basin.

Bild 2. Grundwasserabsenkung im Rheinischen Braunkohlenrevier. Source/Quelle: RWE Power AG

workings (Figure 2). In order to protect the ecological environment the groundwater lowering operations have been limited in scope to the north of Garzweiler mine by the infiltration of mine pumping water.

In spite of the gradual reduction and/or termination of mine pumping measures following the cessation of opencast mining operations and the accelerated re-filling of the groundwater bodies by the active flooding of planned residual lakes (5) the groundwater lowering programme is set to continue for several decades beyond the lifetime of the lignite mining industry. Many of the groundwater bodies will have been restored to their original levels by the end of this century, though the asymptotic processes involved will result in a lag of as much as fifty years in areas that are remote from the natural receiving waters. The current situation and the ongoing process of groundwater uplift are described in more detail in (1, 4).

The final stationary groundwater depth – in other words the distance between the groundwater table and the ground surface after restoration of groundwater levels – will largely correspond to the situation that prevailed in the pre-mining era and that in hydrological terms also represents the target status of self-regulating water management conditions. Of course the period of groundwater lowering measures also saw the establishment of various infrastructure installations and other constructions that extend below the natural groundwater table and are not protected from rising groundwater levels (2, 10). In the case of unadapted building developments of this kind some degree of inundation is to be expected unless counter-measures are put in place. However, such events are not caused by mining operations and do not warrant compensation from the mining industry as the restoration of groundwater levels was previously known about, the re-establishment of balanced natural groundwater conditions is required by law and the mine operators have consistently referred to a scenario of this kind arising.

### **3.2 Mining-related peculiarities associated with the groundwater uplift**

The inherent nature of opencast lignite mining means that certain specific events can occur when groundwater levels are being restored. These are discussed below.

Lignite extraction and the necessary tipping of overburden material will produce changes to the groundwater landscape. In the spoil tips the original groundwater storey segregation is nullified and a degree of potential equalisation takes place that can also impact locally on the groundwater table in the uppermost aquifer. Depending on the geo-hydrological circumstances this can result both in slight increases and also in small reductions in the groundwater depth in the immediate vicinity of the tips.

The height of the water level in the residual lakes is also limited by overflow thresholds in the downstream water bodies (5). Because of their outfall function the rise in groundwater level is restricted so that in the area of the residual lakes the groundwater depth is usually greater than it was during the pre-mining era. Depending on the specific circumstances the water level in the residual lakes can even be regulated in a targeted manner in order to increase the height of the groundwater level and in this way to prevent potential flooding in the surrounding area.

durch die aktive Flutung der geplanten Tagebauseen (5) – noch einige Jahrzehnte über die Braunkohlegewinnung hinaus. Der wesentliche Teil des Grundwasserwiederanstiegs wird bis zum Ende dieses Jahrhunderts erfolgt sein, aufgrund seines asymptotischen Verlaufs gibt es in vorflutfernen Bereichen noch einen Nachlauf von bis zu fünfzig Jahren. Ausführlicher wird der Stand und der weitere Prozess des Grundwasserwiederanstiegs z.B. in (1, 4) beschrieben.

Der endgültige stationäre Grundwasserflurabstand – also der Abstand des Grundwasserspiegels von der Geländeoberkante nach Grundwasserwiederanstieg – wird weitgehend dem Zustand, der vorbergbaulich vorgelegen hat und der wasserwirtschaftlich auch den Zielzustand sich selbst regulierender wasserwirtschaftlicher Verhältnisse darstellt, entsprechen. Allerdings wurden in der Zeit der Grundwasserabsenkung teilweise infrastrukturelle Einrichtungen oder Bebauungen errichtet, die unter den natürlichen Grundwasserspiegel reichen und nicht vor ansteigenden Grundwasserständen geschützt sind (2, 10). In diesen Fällen unangepasster Bebauung sind ohne Gegenmaßnahmen Vernässungen zu erwarten, die jedoch grundsätzlich nicht bergbauverursacht und nicht bergbauseitig auszugleichen sind, da der Grundwasserwiederanstieg bekannt war, die Wiederherstellung ausgeglichener natürlicher Grundwasserverhältnisse behördlich vorgegeben ist und auf dieses Szenario seitens des Bergbautreibenden stets hingewiesen wurde.

### **3.2 Bergbaubedingte Besonderheiten des Grundwasserwiederanstiegs**

Bedingt durch den Braunkohlenbergbau treten beim Grundwasserwiederanstieg einige Besonderheiten auf, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Zum einen erfolgt durch den Braunkohlenbergbau und die anschließende Verkipfung des über der Kohle liegenden Abraums eine Veränderung der Grundwasserlandschaft. In den Kippen wird die ursprünglich vorliegende Grundwasserstockwerkstrennung aufgehoben und es findet ein Potentialausgleich statt, der lokal auch auf den Grundwasserspiegel im obersten Grundwasserleiter Einfluss nehmen kann. Dies kann – je nach vorliegenden geohydrologischen Verhältnissen – sowohl zu geringfügigen Vergrößerungen als auch zu geringfügigen Reduzierungen des Grundwasserflurabstands im nahen Umfeld der Kippen führen.

Daneben werden die Wasserspiegellagen der Tagebauseen durch Überlaufschwelen in nachfolgende Gewässer begrenzt (5). Aufgrund ihrer Vorflutfunktion wird der Anstieg des Grundwassers begrenzt, sodass im Umfeld der Tagebauseen zumeist der Grundwasserflurabstand gegenüber dem vorbergbaulichen Zustand vergrößert wird. Je nach den konkreten Verhältnissen kann die Regulierung der Tagebauseespiegelhöhe sogar gezielt eingesetzt werden, um den Grundwasserflurabstand künstlich zu erhöhen und potentielle Vernässungen in der Umgebung zu vermeiden.

Schließlich treten durch die Grundwasserabsenkung und dem damit einhergehenden Entzug des Auftriebs im Sumpfungseinflussbereich auch Bodensenkungen ein. Diese sind zwar teilweise reversibel (11, 12), ein Großteil der Bodensenkungen verbleibt jedoch und führt zu einem gegenüber dem vorbergbaulichen Zustand abgesenkten Gelände. Diese Geländesenkung verläuft

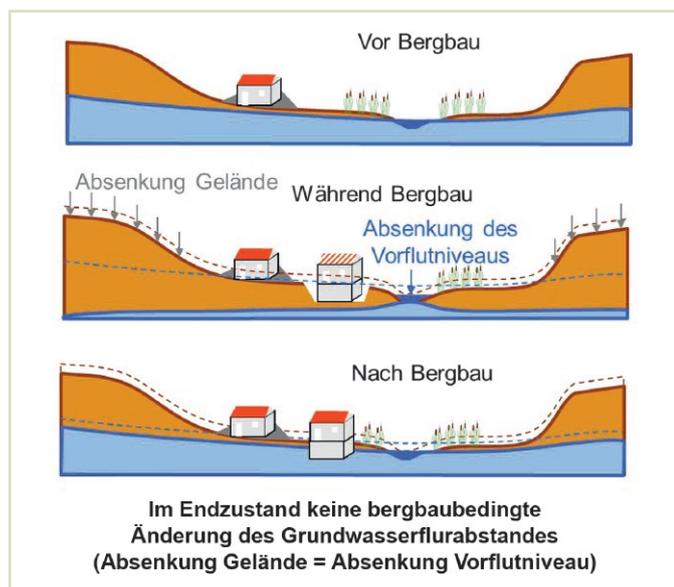


Fig. 3. Restoration of groundwater level with equivalent land settlement (4).  
Bild 3. Grundwasserwiederanstieg mit gleichmäßiger Geländesenkung (4).

Finally, groundwater lowering measures and the associated removal of the uplift pressure in the influence zone of the sump dewatering process can also result in ground subsidence problems. While these are sometimes reversible (11, 12), the majority of the subsidence zones remain and create a terrain that is more sunken than it was before mining began. This settlement process tends to be fairly uniform over a large surface area and causes practically no damage to overlying infrastructure and buildings. It is only in areas exhibiting geological peculiarities, such as along hydraulically effective and physically active tectonic faults and in the region of dewatered humus soils in lowland areas, that locally asymmetric ground movements can occur that may cause damage that has to be made good by mine operators. Most mining-related damage of this kind arises during the active lifetime of the opencast workings when the terrain is prone to surface subsidence. However, individual cases of damage cannot be ruled out even in the upheaval phase. Here it is of an advantage that physically active faults have already been identified and the upheavals are usually smaller than the preceding ground settlement. Mine operators are obliged to pay compensation for all mining-related subsidence damage and in certain cases damage of this kind can also be avoided by taking preventive actions, such as applying specially adapted building techniques, introducing structural safety measures or keeping buildings away from active fault zones. Ground uplift movements will cease almost completely a few decades after the restoration of groundwater levels, which means that there will be a time-limit on the period during which potentially damaging ground movements can occur.

It is sometimes assumed that the mining-induced reduction in ground level will create an additional risk of flooding. However this overlooks the fact that the foundation level of the rivers and streams, referred-to as the 'outfall level', will also sink along with the general terrain. This outfall level is crucial for adjusting the final, stationary groundwater level. As the outfall level sinks in line with the ground surface the final groundwater level will also be lowered accordingly. When the degree of settlement is fairly

im Wesentlichen großflächig gleichmäßig und ohne Schädigungen für die darüber liegende Infrastruktur und Bebauung. Nur im Bereich geologischer Besonderheiten, wie entlang hydraulisch wirksamer, sogenannter bewegungsaktiver tektonischer Störungen und im Bereich von entwässerten humosen Böden in Niederungsbereichen, können lokal ungleichförmige Bodenbewegungen entstehen und zu Schädigungen führen, die vom Bergbautreibenden zu ersetzen sind. Der Großteil dieser Bergschäden entsteht in der Absenkungsphase des Geländes während der aktiven Laufzeit der Tagebaue. Allerdings sind auch in der Hebungsphase einzelne Schäden nicht ausgeschlossen. Hier ist von Vorteil, dass bewegungswirksame Störungen dann bereits gut bekannt sind und die Hebungen meist geringer sind als die vorlaufende Geländesenkung. Der Bergbautreibende hat für alle Bergschäden Schadensersatz zu leisten, teilweise können Schäden auch durch Präventivmaßnahmen, z.B. besondere angepasste Bauweisen, konstruktive Sicherungsmaßnahmen oder auch Freihaltung bewegungsaktiver Störungen von Bebauung, im Vorfeld vermieden werden. Die Hebungen des Geländes werden mit einigen Jahrzehnten Nachlauf zum Grundwasserwiederanstieg weitestgehend abgeschlossen sein, sodass der Zeitraum, in dem schadensrelevante Bodenbewegungen entstehen können, zeitlich begrenzt ist.

Bisweilen wird vermutet, dass durch die bergbaubedingte Absenkung des Geländeniveaus ein zusätzliches Vernässungspotential entsteht. Allerdings wird hierbei übersehen, dass mit dem Gelände auch das Sohlniveau der Flüsse und Bäche, das sogenannte Vorflutniveau, absinkt. Dieses Vorflutniveau ist maßgebend für die Einstellung des endgültigen, stationären Grundwasserniveaus. Da das Vorflutniveau gleichermaßen wie die Geländeoberfläche absinkt, sinkt auch das endgültige Grundwasserniveau entsprechend. Der Grundwasserflurabstand wird daher bei vorliegenden, weitgehend gleichmäßigen Setzungen dem vorbergbaulichen Zustand (Bild 3) entsprechen. Bebauungen oder sonstige oberflächige Nutzungen, die vor dem Bergbau entstanden sind bzw. die sich auch während der Grundwasserabsenkung an den ursprünglichen Grundwasserflurabständen orientiert haben, werden somit auch im Fall von Geländesenkungen vom Grundwasserwiederanstieg nicht beeinträchtigt. Auch die Sorge um ein nicht ausreichendes Gefälle der Vorfluter im Geländesenkungsbereich ist unbegründet (1, 4), da der Geländesenkungsbereich ausreichend flach und großräumig ausgebildet und die Gefälleveränderung entsprechend äußerst gering ist.

Neben dieser (hydro-)mechanisch bedingten Geländesenkung gibt es eine weitere Form der Bodensenkung, die dadurch ausgelöst wird, dass – bedingt durch die Grundwasserabsenkung – Torfe mit Luftsauerstoff in Kontakt kommen, mineralisieren und dabei an Volumen verlieren. Derartige Geländesenkungen treten eher lokal auf, können aber ebenfalls zu Schädigungen an Infrastruktur und Bebauung führen. Diese Art von Geländesenkung wird jedoch mit dem Wiederanstieg im obersten Grundwasserleiter abgeschlossen, sodass hier langfristig keine Schäden mehr zu erwarten sind. Sofern in diesen lokalen Senkungsbereichen ursprünglich grundwasserflurnahe Verhältnisse vorlagen, können bei Grundwasserwiederanstieg grundsätzlich bergbaulich bedingt Vernässungen vorhandener Infrastruktur oder Bebauung entstehen. Eine mögliche Schadensersatzpflicht des Bergbautrei-

uniform in nature the depth of the groundwater table will therefore conform with its pre-mining status (Figure 3). Buildings and other surface facilities that were established before mining commenced or that complied with the original groundwater heights, even as the groundwater levels were falling, will therefore not be affected by the groundwater uplift, even in areas affected by subsidence. Concerns over the outfall streams in the subsidence zones having an inadequate gradient of flow are also unfounded (1, 4) as the subsidence areas in question are sufficiently level and large enough in size and the variation in gradient is very small.

This (hydro)mechanically induced subsidence can be accompanied by another form of ground settlement that is initiated – as a function of the groundwater lowering process – when peat comes into contact with atmospheric oxygen, mineralises and consequently loses volume. While subsidence of this kind tends to be fairly local in nature, it can also cause damage to buildings and infrastructure. However this type of settlement problem can no longer arise as the upper aquifer returns to its original level, with the result that long-term damage is unlikely to occur. If the conditions prevailing in these localised subsidence areas indicate a proximity to the original groundwater level then some mining-related flooding of infrastructure and buildings can occur when groundwater levels are restored. Potential liability for damages on the part of the mine operator will then have to be examined on a case-by-case basis. Here too the period during which any possible damages occurred will be limited in time by the conclusion of the groundwater restoration process.

Finally it should also be noted that dewatering measures can lead to a build-up of stress in hydraulically active faults that under certain circumstances can be released in the form of minor earthquakes. These seismic events have a very low focal depth and magnitude and cause very little damage, if any. Any associated claims can be settled by the mine operators. The period during which events of this kind can occur will at the very latest be defined by the conclusion of the groundwater restoration process.

### 3.3 Special case: Erft meadowlands

The long-term groundwater conditions in the Erft meadowlands between Kerpen and Bedburg are now the subject of intense public debate. This can be attributed on the one hand to the historical drainage operations undertaken along this section of the river, and on the other to the fact that the Erft meadowlands are located between the former opencast mines of Fortuna and Bergheim and the deepest, and still active, Hambach mine, with the result that this area is particularly affected by surface subsidence and dewatering operations.

Long before mining arrived on the scene, and before the Erft broke through the Ville, this section of the Erft meadows consisted of marshland that could neither be farmed nor settled. Even before the local groundwater levels were lowered by the lignite mining industry the region had considered draining the Erft river marshes for cultivation. By the second half of the 19th century, well before any extensive groundwater lowering had been carried out for lignite mining purposes, much of this work had been completed in the form of drainage of the Erft lowlands, the straightening and deepening of the existing watercourses and the creation of an artificial floodway. Additional groundwater lowering for the

benden ist dann im jeweiligen Einzelfall zu prüfen. Auch hier ist der Zeitraum des Eintretens etwaiger Schäden auf den Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs begrenzt.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass durch die Sumpfungen auch Spannungen an hydraulisch wirksamen Störungen aufgebaut werden können, die sich unter Umständen in kleineren Erdstößen wieder abbauen. Diese seismischen Ereignisse haben dabei nur eine geringe Herdtiefe und Magnitude und führen allenfalls zu geringen Schäden, die im gegebenen Fall vom Bergbautreibenden zu regulieren sind. Der Zeitraum des möglichen Eintritts solcher Ereignisse ist längstens auf den Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs begrenzt.

### 3.3 Sonderfall Erftaue

Die langfristigen Grundwasserverhältnisse in der Erftaue zwischen Kerpen und Bedburg werden in der Öffentlichkeit besonders intensiv diskutiert. Dies ist zum einen der besonderen Historie der Entwässerungssituation der Erftaue geschuldet, zum anderen liegt es auch daran, dass die Erftaue zwischen den ehemaligen Tagebauen Fortuna und Bergheim sowie dem aktiven und tiefsten Tagebau Hambach lokalisiert und daher von den Sumpfungsmaßnahmen und der Geländesenkung besonders beeinflusst ist.

Lange vor dem Bergbau war dieser Bereich der Erftaue vor dem Durchbruch der Erft durch die Ville ein Sumpfbereich, in dem weder Landwirtschaft betrieben noch Siedlungen errichtet werden konnten. Insofern war die Region schon vor der Grundwasserabsenkung durch den Braunkohlenbergbau daran interessiert, die Sumpfbereiche in der Erftaue trockenzulegen und urbar zu machen. Durch Drainierung der Erftniederung, Begradigung und Eintiefung der vorhandenen Fließgewässer sowie Schaffung des künstlichen Erftflutkanals wurde dieses Ziel bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts lange vor der großräumigen Grundwasserabsenkung für den Braunkohlenbergbau weitgehend erreicht. Die zusätzliche Grundwasserabsenkung für die Tagebaue wurde in der Folge von der Region – bezogen auf die Grundwasserverhältnisse in der Erftaue – positiv gesehen und genutzt. Es entwickelte sich ein gesamtgesellschaftlicher Konsens, die Grundwasserabsenkung in der Erftaue dauerhaft beizubehalten und die Erftaue intensiv zu besiedeln – mit Bebauung und infrastrukturellen Einrichtungen wie die Autobahn A 61 auch unterhalb des natürlichen Grundwasserniveaus (1, 3, 9). Es bleibt jedoch festzuhalten, dass diese gesellschaftspolitische Entscheidung nicht vom Bergbautreibenden ausging. Von daher ist nicht der Braunkohlenbergbau in der Verantwortung für die langfristig erforderliche Wasserhaltung, sondern die Region. Der Erftverband als regionaler Wasserverband hat diese Aufgabe für sich im Auftrag der Kommunen anerkannt. Inwieweit das gehobene Wasser beispielsweise als Brauchwasser genutzt werden kann, wird zu einem späteren Zeitpunkt zu klären sein.

Nun gibt es – wie im vorherigen Kapitel ausgeführt – verschiedene Einflussfaktoren des Bergbaus, die auf diese Sondersituation verstärkend oder abmindernd einwirken:

1. Die generelle Geländesenkung führt zwar – wie vorab dargestellt – grundsätzlich nicht zu einer Verschärfung der Grundwassersituation. Da aber die sumpfbedingte Geländesenkung ihr Maximum knapp östlich des Tagebaus Hambach hat

opencast operations – in terms of the groundwater conditions in the Erft meadowlands – was positively regarded and made good use of by the local communities. A general consensus developed that the lower groundwater levels in the Erft meadows should be maintained on a permanent basis and that the Erft riverside should be intensively settled – with buildings and infrastructure, including the A 61 motorway, even lying below the natural groundwater level (1, 3, 9). However, it should be noted that this socio-political decision did not emanate from the mine operators. Any responsibility for the water management operations that will be required long term therefore falls not to the lignite industry but to the regional authorities. The Erft Water Board, as the responsible water authority, has recognised its duty in this regard on behalf of the local authority districts. The extent to which the pumped water can be used for service purposes is to be determined at some future date.

As explained in the previous section, various mining-related factors are at play that can exacerbate or alleviate the overall situation:

1. As previously described, the general lowering of ground levels does not in principle lead to a deterioration in the groundwater situation. However, as the drainage-induced subsidence reaches its maximum just to the east of Hambach opencast mine, while the outfall level of the Erft (which determines the groundwater level) has not fallen to the same degree, the natural slope of the land from Hambach mine to the Erft is reduced by about 0.5 ‰. For areas lying to the west of the Erft this difference in land subsidence around the Erft fault block generally means somewhat reduced watertable depths, while the areas located to the east of the Erft tend rather to be relieved by this situation (Figure 4). Naturally there will be further changes in land levels in the years ahead. The ongoing pumping operations mean that a small amount of land settlement – as compared with previous subsidence levels – is to be expected up to the point when lignite extraction comes to an end. However, some amount of uplift will also occur after that and this is likely to compensate more or less for the subsidence movements that are anticipated in the years ahead (11).
2. According to current planning proposals the level of Hambach residual lake is to be limited to around 65 m above mean sea level (AMSL). The original groundwater level in the centre of the proposed lake was at about 77 m AMSL, while at the north-east end of the proposed residual lake it was still at about 70 m AMSL. The groundwater gradient between the residual lake and the Erft – original elevation around 62 m AMSL, future elevation about 60 m AMSL, distance approximately 6 km – will therefore also be reduced by about 0.5 ‰, with the result that the aforementioned reduction in the height of the groundwater in the Erft meadowlands, due to changes in terrain, will be more or less offset by the reduction in the groundwater gradient (Figure 5). This hydraulic effect can be attributed to the fact that Hambach residual lake acts like a naturally self-regulating groundwater management system which – because of its low-

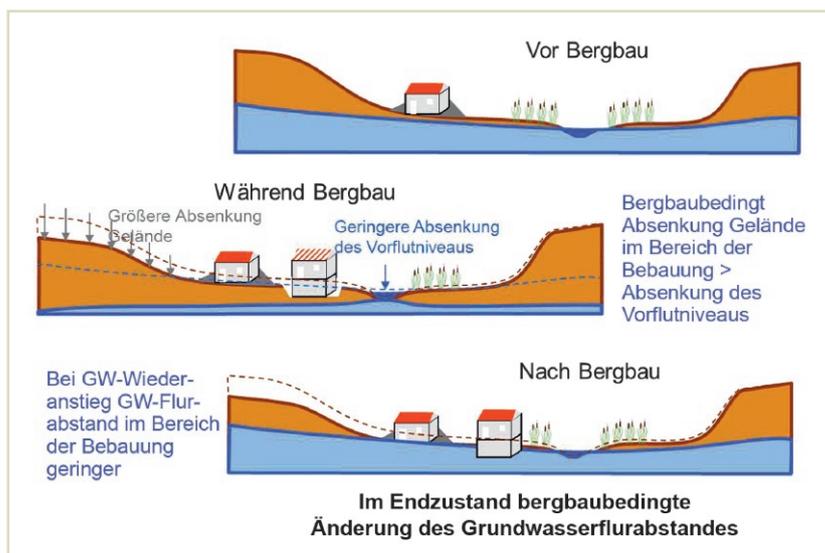


Fig. 4. Impact of unequal ground settlement on the groundwater conditions in the Erft meadowlands. // Bild 4. Wirkung der ungleichmäßigen Setzung auf die Grundwasserhältnisse in der Erfttaue. Source/Quelle: RWE Power AG

und das grundwasserstandsbestimmende Vorflutniveau der Erft geringer abgesunken ist, reduziert sich das natürliche Geländegefälle vom Tagebau Hambach zur Erft hin um rd. 0,5 ‰. Dieser Unterschied in der Geländesenkung im Bereich der Erft-Scholle bedeutet für die westlich der Erft gelegenen Gebiete tendenziell etwas geringere Flurabstände, während die östlich der Erft gelegenen Gebiete durch diese Situation tendenziell eher entlastet werden (Bild 4). Natürlich wird sich auch in Zukunft das Geländeniveau weiter verändern. Aufgrund der Fortführung der Sümpfung ist bis zur Auskohlung der Tagebaue noch eine – im Vergleich zu den bisher eingetretenen Geländesenkungen – geringere weitere Senkung zu erwarten. Anschließend werden jedoch auch Geländehebungen eintreten, die in etwa die zukünftig noch zu erwartenden Senkungen kompensieren werden (11).

2. Der Tageauseespiegel Hambach soll – nach den derzeitigen Planungen – auf rd. 65 m ü. NHN begrenzt werden, das ursprüngliche Grundwasserniveau lag hier in der Mitte des geplanten Sees bei ca. 77 m ü. NHN und am nordöstlichen Ende des geplanten Tageausees immer noch bei ca. 70 m ü. NHN. Das Grundwassergefälle zwischen dem Tageausee und der Erft – Höhenlage ursprünglich rd. 62 m ü. NHN, zukünftig rd. 60 m ü. NHN, Entfernung ca. 6 km – reduziert sich somit ebenfalls um rd. 0,5 ‰, sodass die oben genannte Reduzierung der Grundwasserflurabstände in der Erfttaue aus der Geländeänderung durch die Reduzierung des Grundwassergefälles in etwa ausgeglichen wird (Bild 5). Dieser hydraulische Effekt ist darauf zurückzuführen, dass der Tageausee Hambach wie eine sich natürlicherweise selbst regulierende Grundwasserhaltungsmaßnahme wirkt, dem – aufgrund seines abgesenkten Wasserspiegels – das Grundwasser großräumig zuströmt und bei dem das zuströmende Wasser über die Ablaufschwelle bei 65 m ü. NHN entnommen und der Erft oberirdisch zugeführt wird, anstatt ihr über den Grundwasserpfad zuzuströmen. Das Wasser, das den Tageausee über die Ablaufschwelle verlässt – nach den aktuellen Modellierungen ca.

ered water level – receives large quantities of groundwater. This inflowing water is drawn off at a discharge threshold of 65 m AMSL and is then delivered above ground into the Erft, rather than being fed into the river by groundwater pathways. The water that exits from the residual lake via the discharge threshold – some 20 to 25 M m<sup>3</sup>/a according to current models – ultimately no longer has to be raised to the surface in the Erft meadowlands. Keeping Hambach residual lake at a low level therefore effectively helps to maintain low groundwater levels west of the Erft. And this can be done without any long-term additional costs.

3. The excavation of the groundwater storey split at the former Fortuna and Frechen opencast mines near the Erft creates a link between the deeper-lying groundwater storeys and the uppermost groundwater storey. The extent to which this intrusion constitutes an additional strain on the groundwater situation, or whether it in fact relieves it, has not yet been definitively clarified.

4. As outlined above, the lowering of land levels along the course of the Erft does not threaten the outfall function and natural flow of the river. Certainly the gradient of the river Erft becomes slightly steeper as it enters the subsidence zone (Kerpen to Bergheim) and then similarly shallower as it leaves this lower-lying area (Bergheim to Grevenbroich). This is accompanied by a lowering of the natural water level of the Erft between Kerpen and Bergheim and by a rise in the river's natural water level in the section lying between Bergheim and Grevenbroich. However these changes are only of a magnitude of about 1 DM and therefore have very little impact on the outfall function as far as the groundwater is concerned (1).

The cumulative and ultimate effect of all these factors is now being investigated in order to determine by way of appropriate groundwater model calculations whether the mine operators bear any joint (financial) responsibility for the water management measures that will have to be put in place along the Erft meadowlands on a long term basis. To that end a working group has been set up by the Ministry of the Environment of North Rhine-Westphalia (MULNV), this to be headed by the relevant State Agency (LANUV) and involving the Erft Water Board, the mine operators, other authority bodies and the communities that will most likely be affected.

In view of the relieving effect created by the lowering of water levels in Hambach residual lake the mine operator is essentially of the opinion that they have met their obligations in this area. However, if the investigations should find that they continue to be jointly responsible for securing the situation along the Erft river then they are fully prepared to comply.

### 3.4 Support for water bodies and wetlands and for the provision of replacement water supplies after lignite mining has ceased

If no appropriate countermeasures are taken the groundwater lowering process can compromise the groundwater-dependent

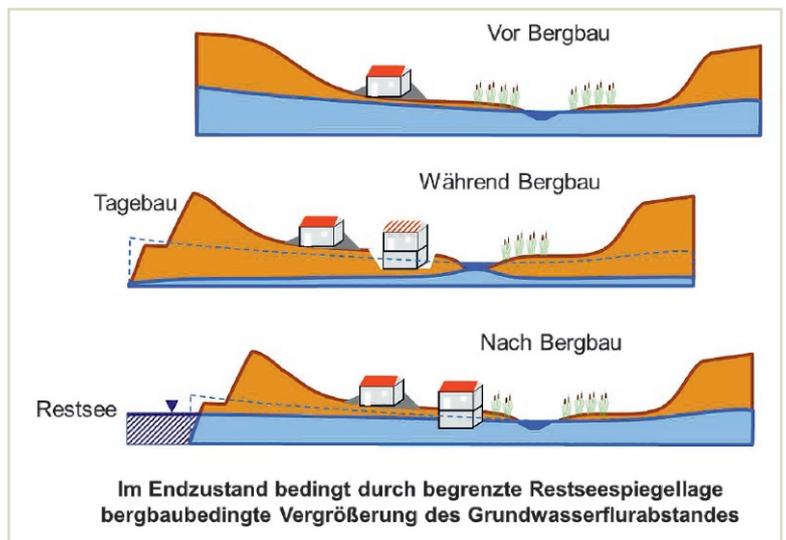


Fig. 5. Impact on groundwater conditions in the Erft meadowlands as a result of restricting water levels in Hambach residual lake. // Bild 5. Wirkung der Begrenzung des Tageauseespiegels Hambach auf die Grundwasserverhältnisse in der Erftaue. Source/Quelle: RWE Power AG

20 bis 25 Mio. m<sup>3</sup>/a – muss letztlich in der Erftaue nicht mehr gehoben werden. Die Niedrighaltung des Tageauseespiegels Hambach stellt damit einen wirksamen Beitrag zur Niedrighaltung der Grundwasserstände westlich der Erft dar. Sie erfolgt ohne langfristige Zusatzkosten.

3. Die Abgrabung der Grundwasserstockwerkstrennung in den der Erft nahegelegenen ehemaligen Tagebauen Fortuna und Frechen bewirkt eine Kopplung der tieferen Grundwasserstockwerke mit dem obersten Grundwasserstockwerk. Inwieweit dieser Eingriff eine zusätzliche Belastung oder aber eine Entlastung der Grundwassersituation in der Erftaue darstellt, ist noch nicht abschließend geklärt.

4. Die Geländeabsenkung über den Erftverlauf gefährdet – wie im vorigen Kapitel dargestellt – nicht die Vorflutfunktion und den natürlichen Abfluss in der Erft. Allerdings wird das Gefälle der Erft beim Eintritt in den Geländeabsenkungsbereich (Kerpen bis Bergheim) geringfügig steiler und entsprechend beim Austritt aus dem Geländeabsenkungsbereich (Bergheim bis Grevenbroich) ebenso geringfügig flacher. Damit einher geht eine Absenkung des natürlichen Erftwasserspiegels im Bereich Kerpen bis Bergheim und eine Aufhöhung des natürlichen Erftwasserspiegels zwischen Bergheim und Grevenbroich. Diese Änderungen liegen allerdings nur in der Größenordnung von rd. 1 dm mit entsprechend geringfügigen Auswirkungen auf die Vorflutfunktion für das Grundwasser (1).

Um eine mögliche (finanzielle) Mitverantwortung des Bergbaubetriebenden für die langfristig erforderliche Wasserhaltung in der Erftaue über entsprechende Grundwassermodellrechnungen zu ermitteln, wird die summarische und letztendliche Wirkung all dieser Effekte derzeit untersucht. Hierzu wurde vom nordrhein-westfälischen Umweltministerium (MULNV) eine Arbeitsgruppe unter Federführung des zuständigen Landesamts (LANUV) und der Mitwirkung des Erftverbands und des Bergbaubetriebenden sowie weiterer Behörden und der potentiell betroffenen Kommunen eingerichtet.

terrestrial ecosystems and watercourses and anthropogenic users of groundwater too. The mine operators therefore have to provide replacement water from drainage wells or by some other means in order to compensate water suppliers, e.g., whose own wells have dried up because of groundwater lowering or whose water availability has been negatively affected in some way. And the naturally existing groundwater heights are also being supported and maintained, where necessary by the infiltration of treated drainage water or some other measure, particularly when it comes to protecting groundwater-dependent wetlands such as the Schwalm-Nette nature park and various surface water bodies (Figure 6) (6). The effectiveness of this process, which is kept under close surveillance by a monitoring body comprising all relevant authorities and other regional water management bodies, has now been verified over a period of more than 15 years (7, 8).

The long-term aim that has been set for these areas comprises the restoration of self-regulating hydrological conditions that will ensure the preservation of wetlands and surface water bodies, and reliable water supplies, without the need for external regulation and control measures. However, various infiltration and support measures, along with the provision of replacement water supplies, will still be required until such time as groundwater levels have been restored to their original state. Figure 7 shows by way of example the projected development of the infiltration and discharge quantities that will be needed to the north of Garzweiler opencast site. As the volume of drainage water required for these infiltration operations will no longer be available several years before the cessation of lignite extraction at the Garzweiler mine some alternative source of supply will have to be found. To this effect a lignite planning process is currently being drawn up that will provide for a water supply pipeline running from the Rhine to the connection with the Garzweiler water supply system at the Grevenbroich-Frimmersdorf intersection. Current planning envisages that this water transfer system will be operational by around 2030. This will ensure reliable supplies of water to the wetlands and surface water bodies in the northern Garzweiler area and will also enable Garzweiler residual lake to be filled after lignite mining has come to an end at this site.

Additional measures aimed at preserving the wetlands and surface watercourses mostly consist of local water redistribution arrangements that can be continued independently of the availability of drainage water even after the cessation of lignite mining operations. In some cases, as in the supply of water to Stommel brook and Nievenheim marsh west of Dormagen, alternative provisions to the existing arrangements can be put in place, if necessary (in this case water can be supplied from Paffendorf waterworks).

In view of the long-term needs scenario detailed plans have yet to be made for the transport pipeline that will provide filling water for Hambach residual lake (5). In den

Aufgrund der deutlich entlastenden Wirkung der Niedrighaltung des Tageauseespiegels Hambach sieht der Bergbautreibende seinen diesbezüglichen Anteil als grundsätzlich erfüllt an. Sollte aber anhand der Untersuchungen festgestellt werden, dass darüber hinaus noch eine Mitverantwortung des Braunkohlenbergbaus zur Sicherung der Situation in der Erftaue besteht, so wird er dieser nachkommen.

### 3.4 Gewässer- und Feuchtgebietsstützung sowie Ersatzwasserversorgung nach Auskohlung der Tagebaue

Die Grundwasserabsenkung kann – sofern keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden – grundwasserabhängige Landökosysteme und Fließgewässer sowie anthropogene Nutzer des Grundwassers beeinträchtigen. Daher sind seitens des Bergbautreibenden z.B. Wasserversorger, deren Brunnen aufgrund der Grundwasserabsenkung versiegt oder zumindest im Wasserdargebot beeinträchtigt sind, durch die Gestellung von Ersatzwasser aus Sumpfungsbunnen oder durch andere geeignete Maßnahmen schadlos zu stellen. Aber auch die natürlicherweise vorhandenen Grundwasserflurabstände werden, insbesondere zum Schutz grundwasserabhängiger Feuchtgebiete, wie z.B. das Schwalm-Nette-Gebiet und Oberflächengewässer, erforderlichenfalls durch die Infiltration von aufbereitetem Sumpfungswasser oder alternativen Maßnahmen (Bild 6) gestützt und erhalten (6). Die Wirksamkeit dieses Prozesses wird dabei intensiv durch ein Monitoring, in dem alle relevanten Behörden und sonstigen wasserwirtschaftlichen Akteure der Region vertreten sind, überwacht und seit mittlerweile mehr als 15 Jahren bestätigt (7, 8).

Das langfristige Ziel für diese Gebiete ist es, dass sich auch dort wieder selbst regulierende wasserwirtschaftliche Verhältnisse einstellen, die den Erhalt von Feuchtgebieten und Oberflächengewässern sowie auch die Wasserversorgung ohne externe Steuerungs- und Regulierungsmaßnahmen sicherstellen. Bis zum Abschluss des Grundwasserwiederanstiegs müssen die Infiltrations- und Stützungsmaßnahmen sowie die Ersatzwasserversorgung jedoch noch beibehalten werden. Bild 7 zeigt beispielhaft hierfür die



Fig. 6. Measures aimed at maintaining groundwater levels and surface water bodies in groundwater-dependent wetlands. // Bild 6. Maßnahmen zum Erhalt des Grundwasserstands und von Oberflächengewässern in grundwasserabhängigen Feuchtgebieten. Source/Quelle: RWE Power AG

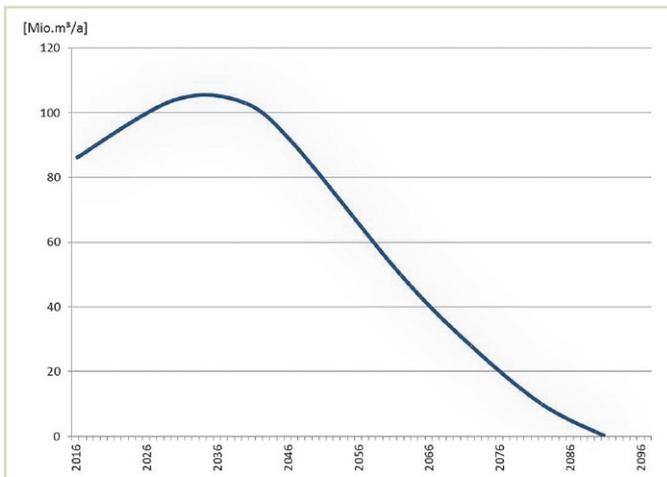


Fig. 7. Projections for the volume of infiltration and discharge water needed to maintain the wetlands north of Garzweiler lignite mine.  
 Bild 7. Prognose der erforderlichen Infiltrations- und Einleitmengen zum Erhalt der Feuchtgebiete im Norden des Tagebaus Garzweiler.  
 Source/Quelle: RWE Power AG

residual lake is to be provided with water from the Rur river. The precise arrangements for this operation will be laid down in various water legislation procedures to be put in place after 2025.

#### 4 Summary

The examples given for the restoration of groundwater levels, the support of watercourses and wetlands and the provision of replacement water supplies all show that the water resources industry in the Rhineland lignite basin will continue to face a series of complex challenges even after lignite mining comes to an end as planned. The required guidelines and stipulations have now largely been laid down in this area in the form of mining and water law approval procedures that will be overseen by relevant monitoring systems. The measures that will be needed have still to be worked out in greater detail and laid down in further approval procedures, though given the requirements schedule there is still adequate time for this to be done.

The various tasks that are a legacy of mining operations over the years are now being tackled by the industry. The programme of work has been properly assessed and appropriate financial provisions are being set aside for this purpose. A key factor here is that while the various assignments that will be carried out by the mining industry may in some cases last for several decades, they will in any event always be limited in time and – unlike the impact generated by the deep coal mining industry – will not continue indefinitely.

The lignite industry's responsibility for supporting watercourses and wetlands and for providing replacement water supplies even after the cessation of lignite extraction is clear-cut and undisputed. As far as flooding and water logging are concerned, and the measures needed to prevent this, factual analysis has shown that responsibility in this area does not in principle lie with the mine operator as groundwater heights in their stationary end state, and in spite of the ground subsidence caused by draining and dewatering operations, will again largely conform to pre-mining levels. While some local mining-related singulari-

prognostizierte Entwicklung der erforderlichen Infiltrations- und Einleitmengen nördlich des Tagebaus Garzweiler. Da für diese Infiltrationen bereits einige Jahre vor der vollständigen Auskohlung des Tagebaus Garzweiler keine ausreichenden Sumpfungswassermengen mehr zur Verfügung stehen werden, muss eine alternative Wasserbereitstellung erfolgen. Hierzu wird aktuell ein Braunkohlenplanverfahren zur Sicherung einer Wassertransportleitungstrasse vom Rhein zum Anschluss ans Wasserverteilungssystem Garzweiler am Knotenpunkt Grevenbroich-Frimmersdorf erstellt. Diese Wasserüberleitung vom Rhein soll nach derzeitiger Planung ab ca. 2030 geschaffen werden. Auf diese Weise werden dann sowohl die Feuchtgebiete und Oberflächengewässer des Nordraums Garzweiler sicher versorgt, als auch nach Abschluss der Kohleförderung zusätzlich der Tageausee Garzweiler mit Wasser befüllt.

Die sonstigen Maßnahmen zum Schutz von Feuchtgebieten und Oberflächengewässern bestehen zumeist aus lokalen Wasserumverteilungen, die unabhängig vom Sumpfungswasserangebot auch nach Auskohlung der Tagebaue fortgeführt werden können. Im Einzelfall, z.B. Versorgung Stommelner Bach und Nievenheimer Bruch westlich von Dormagen, wird ggf. auch eine alternative Wasserbereitstellung zum bisherigen Vorgehen (Wasser aus dem Wasserwerk Paffendorf) realisiert werden können.

Die Transportleitung zur Befüllung des Tageausees Hambach ist aufgrund der weiter in der Zukunft liegenden Erfordernisse noch nicht näher beplant (5). Der Tageausee Inden wird über das Wasser aus der Rur befüllt. Die genaue Ausgestaltung wird ab 2025 in verschiedenen wasserrechtlichen Verfahren festgelegt.

#### 4 Fazit

Die hier vorgestellten Beispiele Grundwasserwiederanstieg, Gewässer- und Feuchtgebietsstützung sowie Ersatzwasserversorgung zeigen, dass die Wasserwirtschaft im Rheinischen Braunkohlenrevier auch nach der planmäßigen Auskohlung der Tagebaue noch einige komplexe Aufgaben zu bewältigen haben wird. Hierzu gibt es zum großen Teil schon klare Vorgaben in berg- und wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren, die über entsprechende Monitoring-Systeme überwacht werden. Im Detail sind die erforderlichen Maßnahmen noch weiter auszuarbeiten und in weiteren Genehmigungsverfahren festzulegen, wozu angesichts der zeitlichen Dimension der Erfordernis ausreichend Zeit bleibt.

Die durch den Bergbau verursachten Aufgabenstellungen werden von ihm übernommen, sind gut abschätzbar und finanziell durch die entsprechende Rückstellungsbildung abgesichert. Wesentlich ist hierbei, dass die vom Bergbau zu übernehmenden Aufgaben zwar teilweise längere Zeit, d.h. einige Jahrzehnte, in Anspruch nehmen können, sie in jedem Falle aber zeitlich befristet sind und – anders als z.B. bei den Folgen des Steinkohlenbergbaus – nicht ewig andauern.

Die Verantwortung des Braunkohlenbergbaus für die Gewässer- und Feuchtgebietsstützung sowie die Ersatzwasserversorgung auch nach Tagebauende ist dabei eindeutig. Hinsichtlich der möglichen Vernässungen bzw. ihrer Vermeidungsmaßnahmen zeigt die durchgeführte Sachverhaltsanalyse auf, dass die Verantwortung hierfür grundsätzlich nicht beim Bergbautreibenden liegt, da der Grundwasserflurabstand im stationären Endzustand trotz der eingetretenen sumpfungsbedingten Bergsenkung großräumig dem vorbergbaulichen Zustand entsprechen wird. Es gibt

ties will remain, in overall terms – and especially given the impact of the residual lakes and their restricted water levels – these will tend to alleviate flooding and water logging problems rather than exacerbate them. However, if future investigations should indicate that the mine operator still has certain responsibilities to bear in some areas then the industry stands ready to meet its obligations in full.

#### References / Quellenverzeichnis

- (1) Bucher, B.; Simon, S.: Grundwasserwiederanstieg im Rheinischen Revier. In: *World of Mining* 1/2016 (2016), S. 21–27.
- (2) Clever, N.: Hohe Grundwasserstände im Rhein-Kreis Neuss – Auswirkungen auf vorhandene Bebauungen und Lösungsansätze. In: *World of Mining* 1/2016 (2016), S. 28–35.
- (3) Erftverband: Grundwasserwiederanstieg. In: *Informationsfluss Sonderheft S16* (2016), 12 S.
- (4) Forkel, C.: Aspekte des Grundwasserwiederanstiegs im Rheinischen Revier. In: *Dresdner Grundwassertage 2011* (2011).
- (5) Forkel, C.; Müller, C.; Hassel, S.; Rinaldi, P.; Rüping, M.: Restseen- und Kippenwasserentwicklung im Rheinischen Braunkohlenrevier. In: *WasserWirtschaft* 4/2017 (2017), S. 20–29.
- (6) Jaritz, R.; Berger, D.: Integrale Monitoringstrategie zum Schutz von Feuchtgebieten im Einflussbereich des Braunkohlentagebaus Garzweiler II. In: *Wasser und Abfall* 6/2013 (2013), S. 10–13.
- (7) Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW: *Monitoring Garzweiler II, Jahresbericht 2017* (2018).
- (8) Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW: *10 Jahre Monitoring Garzweiler II, Symposium am 11./12.9.2009 in Mönchengladbach*. In: *Tagungsband* (2009).
- (9) NRW: Antwort der Landesregierung auf die Große Anfrage Nr. 2: Bergschäden durch den Braunkohlenbergbau, Drucksache 16/3340 vom 21.06.2013 (2013).
- (10) Simon, S.: Vernässungsprobleme durch hohe Grundwasserstände und Wiederanstieg des Grundwassers im Rheinischen Braunkohlenrevier. In: *Wasser und Abfall* 7\_8/2013 (2013), S. 52–56.
- (11) Ziegler, M.; Giese, S.; Schaefer, W.; Forkel, C.: Prognose sumpfbewingter Bodenbewegungen im rheinischen Braunkohlerevier. In: *Bergbau* 60 (2009), S. 439–443.
- (12) Ziegler, M.: Modellierung und Prognose der aus Grundwasserabsenkung und Grundwasserwiederanstieg resultierenden Bewegungen der Geländeoberfläche. In: *World of Mining* 2/2016 (2016), S. 80–89.

#### Authors / Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christian Forkel, Sara Hassel M. Sc., Dr.-Ing. Piercristian Rinaldi, Dipl.-Ing. Christian Müller, RWE Power AG, Bergheim