

Werner Gerwin, Annika Badorreck, Wolfgang Schaaf, Christoph Hinz und Reinhard F. Hüttl

Das Hühnerwasser-Einzugsgebiet in SO-Brandenburg im Übergang von einem abiotischen zu einem biotisch kontrollierten Wasserhaushalt

The Hühnerwasser catchment in SE Brandenburg in transition from an abiotic to biotic controlled water balance

Das Hühnerwasser-Einzugsgebiet ist ein 6 ha großes, künstlich geschaffenes Wassereinzugsgebiet im Tagebau Welzow-Süd in Südost-Brandenburg. Das Zweischichtsystem mit einer Ton- und einer darüber liegenden Sandschicht wurde im Jahr 2005 fertiggestellt und ohne weitere Rekultivierungsmaßnahmen für Forschungszwecke bereitgestellt. Es lässt exemplarisch die Untersuchung der initialen Landschaftsentstehung zu. Insbesondere die Entwicklung von einem zunächst noch abiotisch kontrollierten hin zu einem biotisch gesteuerten System lässt sich hier beobachten. In diesem Beitrag werden beispielhaft einige in diesem Kontext aufgetretene Interaktionen zwischen abiotischen und biotischen Strukturelementen vorgestellt. Dies sind zum einen Erosions- und Sedimentationsprozesse und ihre Wechselwirkungen mit der Vegetation. Zum anderen wird der Einfluss der Vegetation auf die Grundwasserentwicklung dargestellt.

Schlagwörter: künstliches Wassereinzugsgebiet, Erosion, Sedimentation, Grundwasser, Vegetation, Ökosystementwicklung

The Hühnerwasser catchment is a 6 ha, artificially created catchment in the open cast mine Welzow-South in the southeastern part of the State of Brandenburg. The two-layer system with a clay layer and a sand layer on top of it was finalized in 2005 and left for research purposes without any further reclamation measures. It allows exemplarily the investigation of the initial landscape genesis. Particularly, the development from a primarily abiotic controlled system to a biotically driven system can be observed. In this context, this paper presents examples of interactions between abiotic and biotic structural elements. These are on the one hand erosion and sedimentation processes and their interactions with vegetation; on the other hand, the influence of vegetation on groundwater development will be presented.

Keywords: artificial catchment, erosion, sedimentation, groundwater, vegetation, ecosystem development

1. Einleitung

Die Ausbildung von Vegetationsmustern als Folge unterschiedlicher Wasserverteilung und -verfügbarkeit ist gut untersucht. Dass Lebewesen, nicht nur der Mensch, ihren Lebensraum umkehrt ebenfalls signifikant verändern und umbauen, wird häufig übersehen. In jüngerer Zeit reift zunehmend die Erkenntnis, dass die Beziehungen zwischen abiotischen und biotischen Ökosystembestandteilen in beiden Richtungen von Relevanz sind und sowohl Pflanzen wie Tiere ihren Lebensraum aktiv umgestalten (McGRATH et al., 2011; MARANI et al., 2013). Diese Beeinflussung erfolgt über unterschiedliche räumliche Skalen hinweg (HALLETT et al., 2010).

Selten ergibt sich jedoch die Möglichkeit den Einfluss von Biota auf den Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes direkt beobachten zu können. Das Wassereinzugsgebiet Hühnerwasser im Braunkohletagebau Welzow-Süd (SO-Brandenburg) bietet neben der „klassischen“ Untersuchung von Musterbildungen der Vegetation als Folge standörtlicher Unterschiede auch die Gelegenheit, umgekehrt den wachsenden Einfluss der Vegetation auf die Standortverhältnisse zu analysieren. Das künstlich geschaffene, hochgradig transiente System bietet Einblicke in den Übergang von einem zunächst rein abiotisch kontrollierten hin zu einem immer stärker durch Lebewesen geprägten Wasserhaushalt. Es repräsentiert einen initialen Landschaftsausschnitt mit einem für Nordostdeutschland charakteristischen, pleistozänen (saalezeitliches Grund-/Endmoränenmaterial) Substrat. Durch den konsequenten Verzicht auf die in der Tagebaurekultivierung üblichen Maßnahmen zur Standortverbesserung (z. B. Kalkung,

Düngung, Pflanzungen, Ansaaten) wurde ein Landschaftsobservatorium geschaffen, das die Beobachtung der Initialphase der Ökosystem- und Landschaftsentwicklung ermöglicht.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Kurze Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

In 2004/05 wurde im Tagebau Welzow-Süd (Lausitzer Braunkohlenrevier, SO-Brandenburg) das Quellgebiet des zu rekonstruierenden Hühnerwasserbaches, einem Zufluss der Spree oberhalb

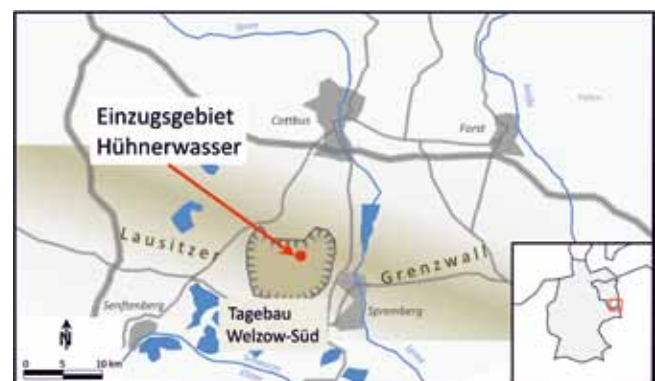


Abbildung 1

Lage des Einzugsgebietes Hühnerwasser in der brandenburgischen Niederlausitz (Tagebau Welzow-Süd).
Location of the Hühnerwasser catchment in Lower Lusatia in the State of Brandenburg (open cast mine Welzow-South).

von Cottbus erbaut. Der Oberlauf des Hühnerwassers war in den 1980er-Jahren durch den Tagebaubetrieb zerstört worden und wird im Zuge der Rekultivierung inzwischen in der Bergbaufolgelandschaft wieder neu eingerichtet. Da sich diese Bergbaufolgelandschaft nach wie vor im Bereich der tiefgründigen Grundwasserabsenkung befindet, wurde durch das Bergbauunternehmen ein Quellgebiet errichtet, das die Entwicklung eines kleinen lokalen Grundwasserkörpers und eines Quellbereichs erlauben sollte.

Das Einzugsgebiet Hühnerwasser umfasst einen rund 6 ha großen Bereich in der Bergbaufolgelandschaft des Tagebaus Welzow-Süd, ca. 30 km südlich von Cottbus (Abb. 1) und wurde durch Einsatz bergbaulicher Großgerätetechnologie (Absetzertechnik) in den Jahren 2004 und 2005 geschaffen. Die anfängliche Oberflächentopographie ist aus Abbildung 2 ersichtlich.

Umgesetzt wurde dieses Vorhaben durch die Schüttung einer Tonschicht als Vertikalsperre für Sickerwässer und einer durchschnittlich 2 bis 3 m mächtigen Überdeckung durch sandige Kippsubstrate pleistozänen (saalezeitlichen) Ursprungs (Abb. 3). Durch die schüsselförmige Ausplanierung der Oberflächen von sowohl der Ton- wie der darüber liegenden Sandschicht wurden die horizontalen Einzugsgebietsgrenzen definiert. Das Einzugsgebiet stellt einen flachen Hügel mit einer leichten Steigung von 3,5 % dar. Eine Senke im unteren Bereich des Gebietes vor dem zentralen Gebietsauslass erlaubt die Entwicklung eines aquatischen Teilbereichs mit einem Teich. Nach dem Abschluss der Baumaßnahmen wurde die Fläche eingezäunt und als Dauerbeobachtungsfläche ohne weitere Bodenmelioration, Aussaaten oder Pflanzungen eingerichtet. Es wurde bewusst auf jegliche Re-

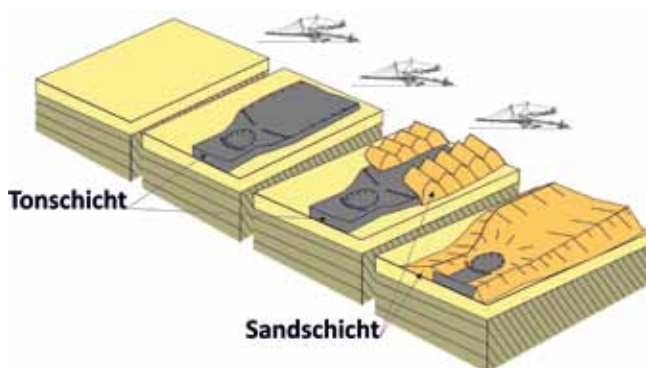


Abbildung 3

Bau und Aufbau des Einzugsgebietes Hühnerwasser (schematische Darstellung).
Construction and inner structures of the Hühnerwasser catchment (schematic representation).



Abbildung 2

Links: Topographie der Oberfläche des Einzugsgebietes 2005; rechts: Luftbild aus dem Jahr 2006.
Left: Surface topography of the catchment in 2005; right: Aerial photograph from the year 2006.



kultivierungsmaßnahmen verzichtet, um so ein Landschaftsobservatorium zu schaffen, in dem die unbeeinflusst ablaufende Sukzession und Ökosystementwicklung ab einem genau definierbaren „Punkt Null“ zu beobachten sind (GERWIN et al., 2009; HÜTTLE et al., 2014). Ausführlichere Details zum Bau und Aufbau der Fläche wurden bereits an anderer Stelle publiziert (GERWIN et al., 2009, 2010).

2.2 Datenerfassung

Unmittelbar nach Abschluss der Bauarbeiten im Herbst 2005 wurde auf der zunächst noch wenig strukturierten Einzugsgebietsfläche ein regelmäßiges Messraster eingemessen (SCHAAF et al., 2010). Der Abstand zwischen den Rasterpunkten wurde auf 20 m festgelegt. Somit wurden insgesamt rund 120 Messpunkte markiert, die im Weiteren für Dauerbeobachtungen (u. a. regelmäßige Vegetationsaufnahmen) genutzt werden. Entlang dieses Messrasters wurden erste Messeinrichtungen installiert (u. a. Grundwasserbeobachtungsrohre und Bodenfeuchtesensoren). Das in den Folgejahren mit zunehmender Strukturierung der Fläche (Entstehung von Erosionsrinnen, Vegetationsentwicklung) kontinuierlich weiter ausgebaut Monitoringmessnetz (Abb. 4) beinhaltet Wetterstationen, Niederschlagssammler, Grundwassermessstellen, Messwehre, Abflussmeseinrichtungen in Erosionsrinnen, Bodenfeuchtemesseinrichtungen sowie diverse Beprobungseinrichtungen für Bodenlösung und Oberflächenwässer (SCHAAF et al., 2017). Zudem finden ein regelmäßiges Vegetationsmonitoring an 120 Dauerbeobachtungsplots sowie mehrmals pro Jahr Luftbildbefliegungen mit Mikrodrohnen statt. Entsprechend liegen für das Untersuchungsgebiet zahlreiche Zeitreihen und Messdaten zu hydrologischen, bodenkundlichen, limnologischen und biologischen Parametern vor (ELMER et al., 2013).

2.3 Untersuchungszwecke der durchgeführten Studien

Das Einzugsgebiet stellt damit ein Landschaftsobservatorium für die Beobachtung eines stark transienten Ökosystems dar, in dem die anfänglich geringe strukturelle Komplexität des Systems rasch wächst und damit vielfältige Interaktionen und Rückkopplungen zwischen den sich etablierenden Systemkompartimen-

ten auftreten (RAAB et al., 2012; HÜTTL et al., 2014). Es bieten sich Analogien zur nacheiszeitlichen Landschaftsentwicklung in Nordostdeutschland an, allerdings unter deutlich anderen, „günstigeren“ klimatischen Verhältnissen und bei gleichzeitig kurzen Einwanderungswegen für Lebewesen, so dass eine Landschaftsentwicklung im „Zeitraffer“ betrachtet werden kann. Das Hühnerwasser-Einzugsgebiet bietet damit zahlreiche Möglichkeiten zur Verbesserung des Verständnisses ökologischer Systeme und Prozesse und damit auch Grundlagen für die Modellbildung (HOLLÄNDER et al., 2014).

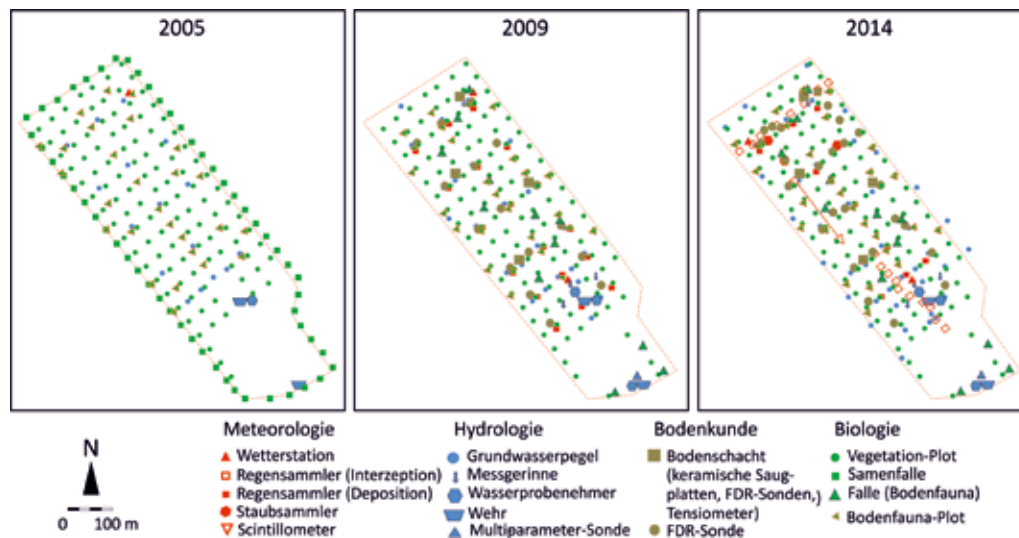


Abbildung 4

Monitoringeinrichtungen im Einzugsgebiet Hühnerwasser: Räumliche Lage und zeitliche Entwicklung (für die Jahre 2005, 2009 und 2014).

Monitoring facilities at Hühnerwasser catchment: Spatial locations and temporal development (for the years 2005, 2009 and 2014).

In diesem Beitrag werden exemplarisch Interaktionen zwischen Lebewesen (Pflanzen) und ihrem Lebensraum vorgestellt, die in dem inzwischen 12-jährigen Beobachtungszeitraum mit verschiedenen Mitteln aufgezeichnet werden konnten. Vorgestellt werden ausgewählte Ergebnisse des laufenden Monitoringprogramms, aber auch indirekte Untersuchungen zur Aufklärung von Prozessen, die gerade in der Anfangsphase der Systementwicklung mit sehr großer Geschwindigkeit ablaufen und daher teilweise nur unzureichend mit direkt Messungen erfasst werden konnten.

2.4 Fragestellungen der durchgeführten Studien

Das Einzugsgebiet Hühnerwasser war und ist Teil verschiedener grundlagenorientierter ökosystemarer Forschungsvorhaben. Die übergreifende Zielstellung dieser Vorhaben ist die Untersuchung von Prozessen der initialen Ökosystemgenese (SCHAFF et al., 2011). Junge Ökosysteme sind durch eine anfänglich geringere Strukturierung (bezogen auf geomorphologische, hydrologische, bodenkundliche oder auch biologische Strukturen) und durch transiente, rasch veränderliche Systemzustände gekennzeichnet (JØRGENSEN et al., 2000; RAAB et al., 2012). Die mit dem Hühnerwassergebiet verbundenen Forschungen versuchen daher für diese Anfangsphase der Ökosystementwicklung charakteristische Prozesse zu ermitteln, die Bedeutung der initial vorhandenen Strukturen zu verstehen sowie Interaktionen und Rückkopplungen zwischen den sich während der weiteren Entwicklung neu einstellenden Strukturen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstabsebenen herauszuarbeiten.

3. Material und Methoden

Die früheste Entwicklung des Landschaftsausschnitts war im Wesentlichen durch abiotisch geprägte Prozessabläufe beeinflusst. Dazu zählten insbesondere Erosions-, Transport- und Ablagerungsprozesse. Diese erste rein abiotisch gesteuerte Phase wurde sehr bald durch vermehrt auftretende biotisch gesteuerte Prozesse beendet und die Zahl der Interaktionen zwischen Lebewesen und Lebensraum nahm deutlich zu (ELMER et al., 2013).

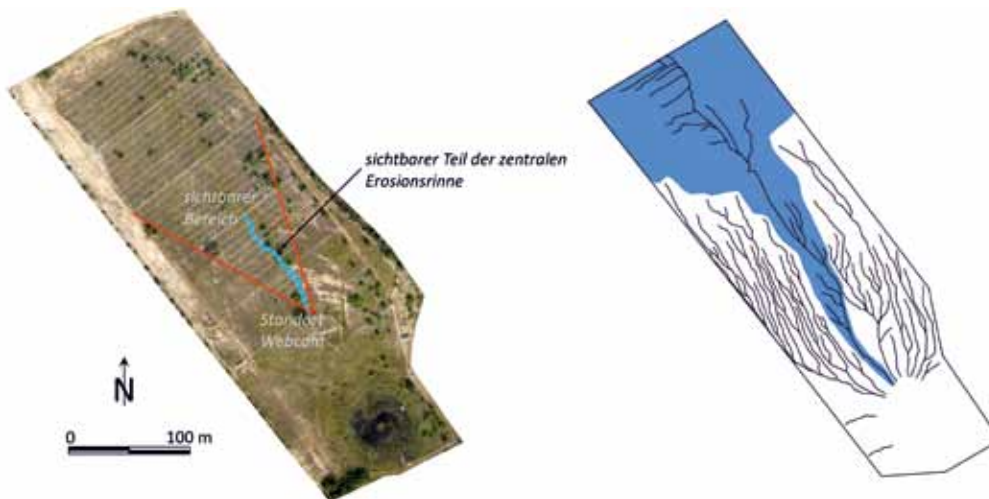
Einige dieser Prozesse, beispielsweise das Erosionsgeschehen, konnten nicht oder nur unzureichend direkt gemessen werden. In diesem Beitrag vorgestellte Ergebnisse, die diese Entwicklung hin zu einem biotisch gesteuerten System illustrieren sollen, beruhen daher teilweise auf indirekten Verfahren, wie der Auswertung von Webcamaufnahmen eines Teilbereichs des Einzugsgebietes sowie der Analyse von Sedimentbohrkernen.

3.1 Erosionsgeschehen

Seit dem Frühjahr 2008 bis heute wird mit einer Webcam kontinuierlich die Entwicklung eines Ausschnitts des Einzugsgebietes mit zweimal täglichen Bildern dokumentiert (Abb. 5). Die Kamera erfasst insbesondere die zentrale Abflussrinne, die sich aufgrund von Erosionsprozessen entwickelt hat und einen größeren Teil des terrestrischen Bereichs des Hühnerwasser-Einzugsgebietes entwässert (Abb. 5). Seit dem Jahr 2009 wird zudem verstärkt der Einfluss der Vegetation sichtbar. Die Position der Kamera wurde seit ihrer Installation im Jahr 2008 an einem 10 m-Mast nicht verändert, so dass alle Bilder denselben Landschaftsausschnitt zeigen und somit direkt miteinander verglichen werden können. Neben der Visualisierung der Landschaftsentwicklung lassen die Bilder auch eine zumindest halbquantitative Analyse der Rinnenentwicklung zu. Untersucht wurden monatliche Aufnahmen aus den Jahren 2008 bis 2011. Seit dem Jahr 2012 sind die Erosionsrinnen durch dichte Vegetation bedeckt und die Aufnahmen damit nicht mehr auswertbar.

Zur Analyse wurden nachmittägliche Aufnahmen ausgewählt, da sie günstigere Beleuchtungsverhältnisse gegenüber den morgendlichen Bildern aufweisen. Nicht ausgewertet wurden dabei Bilder, auf denen Schnee die Erosionsrinnen verdeckt. Die halbquantitative Längen- und Flächenmessungen in den Photographien wurden mit der Software DatInf Measure 2.1d (DatInf. GmbH, Tübingen) durchgeführt.

Gemessen wurden die Flächen der zentralen Erosionsrinne durch manuelle Digitalisierung ihrer sichtbaren Umriss (Abb. 6). Be-

**Abbildung 5**

Links: Durch die Webcam aufgezeichneter Landschaftsausschnitt des Einzugsgebietes (Luftbild September 2012, die Begrenzung des Aufnahmegebietes der Webcam ist rot markiert und schraffiert); rechts: Erosionsrinnensystem mit blau markiertem, generalisiertem Einzugsgebiet der Zentralrinne (Karte abgeleitet aus Luftbild von August 2008).

Left: Part of the catchment landscape observed by the webcam (aerial photograph September 2012); right: System of erosion rills with generalized catchment of the central gully in blue (map derived from aerial photograph from August 2008).

rücksichtigt wurde dabei der „aktive“ Bereich der Erosionsrinne, d. h. der Bereich des „Bachbetts“, in dem zumindest temporär Wasser floss. Zu erkennen war dies im Bild entweder anhand von sichtbar fließendem Wasser, feuchten Oberflächen oder frischen Sedimentstrukturen.

Weiterhin wurde durch die automatische Farberkennungsfunktion der Software der vegetationsbedeckte Teil des jeweiligen Bildes ermittelt (Abb. 6), wobei Aufnahmen aus den Wintermonaten nicht berücksichtigt wurden (Abgrenzung von vegetationsfreien Bereichen wegen fehlender oder zu geringer grüner Farbtöne nicht eindeutig möglich). Die Empfindlichkeit der Farberkennung musste wegen unterschiedlicher Belichtungsverhältnisse individuell für jedes Bild eingestellt werden, um eine optimale Identifizierung der Vegetation zu ermöglichen.

Die Webcam-Aufnahmen sind als Schrägbildaufnahmen nur bedingt und nicht mit der erforderlichen Präzision geo-referenzierbar. Somit wurde auf eine Entzerrung verzichtet, so dass keine metrischen Längen- oder Flächenangaben möglich sind, sondern lediglich Angaben in Pixeln. Zur Vergleichbarkeit mit anderen Messergebnissen wurden die ermittelten Flächen in prozentuale Werte bezogen auf den ausgewerteten Bildausschnitt umgerechnet. Zur Ermittlung der Gesamtbildfläche wurde der abgebildete Himmelsausschnitt aus den Bildern entfernt, so dass sich die

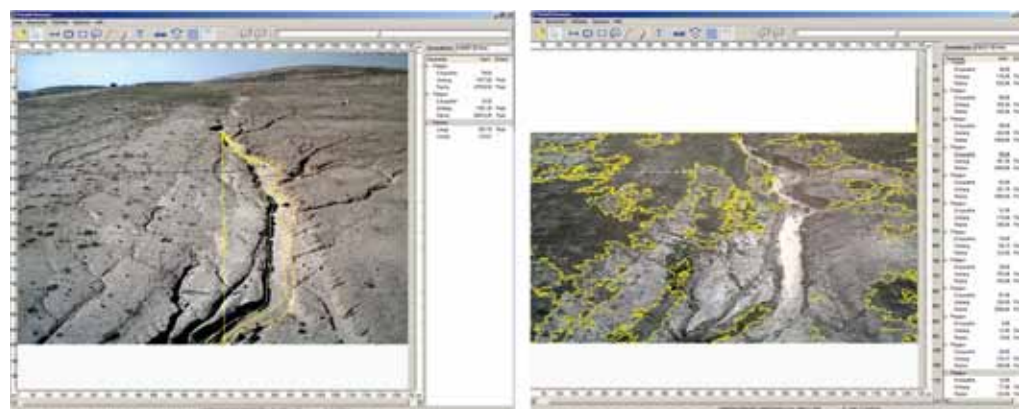
Flächenanteile auf einen rechteckigen Ausschnitt der durch die Webcam erfassten Bodenoberfläche beziehen (Abb. 6).

Zur methodologischen Bewertung der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden Daten dieser Vegetationserkennung mit dem Anteil der grünen Flächen in hochauflösenden Senkrechtaufnahmen der Fläche, die aus sommerlichen Mikrodrehenflügen in den Jahren 2008, 2009, 2010 und 2011 vorlagen, verglichen. Aus den Luftbildern wurden dazu die grünen Flächen unter Anwendung eines Geographischen Informationssystems extrahiert. Von den Webcam-Bildern

wurde jeweils ein Bild aus dem jeweiligen Beflegungsmonat der genannten Jahre einbezogen. Der Vergleich zeigt einen recht guten Zusammenhang zwischen beiden Datensätzen, allerdings auch die Grenzen der Webcam-Bild-Auswertung, die wegen der Schrägperspektive vor allem bei der noch geringen Vegetationsbedeckung eine Überschätzung ergeben (Abb. 7).

3.2 Sedimentationsgeschehen

Die korrelierten Sedimente der Abtragungsvorgänge im oberen Bereich des Einzugsgebietes finden sich in einem sich ab Herbst 2005 bildenden Schwemmfächer sowie als Ablagerung im unterhalb liegenden Teich. Im Bereich des Schwemmfächers wurde die Tonschicht bei den Baumaßnahmen überwiegend nicht mit den sandigen Massen bedeckt. Nur randlich reichen geringmächtige Ausläufer der Planierschichten in die durch den heutigen

**Abbildung 6**

Links: Messung der Erosionsrinnenfläche durch Digitalisierung der Umrisslinien; rechts: Digitalisierung der Vegetationsflächen durch automatische Farberkennung.

Left: Measurement of erosion rill surface by digitizing the outline; right: digitizing of vegetation covered areas by means of automatic color detection.

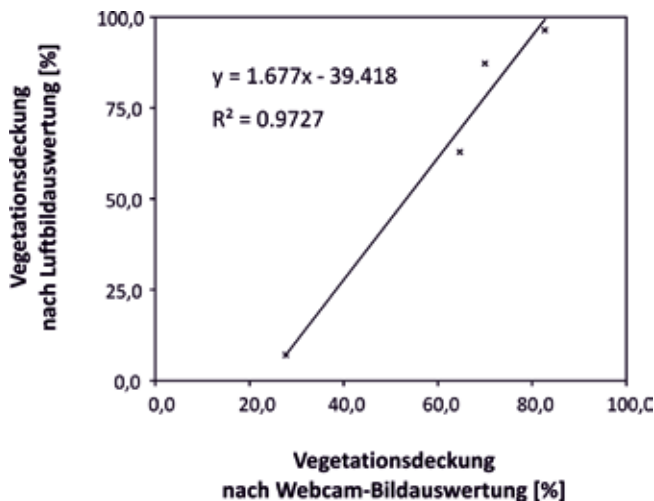


Abbildung 7

Vergleich von Vegetationsbedeckungsgraden ermittelt durch Auswertung von hochauflösenden Luftbildern und Webcam-Bildern.

Comparing vegetation cover levels derived from analysis of high resolution aerial photographs and from webcam pictures.

Schwemmfächer bedeckte Fläche hinein. Im Gegensatz zu den gekippten Sandmassen im oberen, rein terrestrisch geprägten Bereich des Einzugsgebietes finden sich in diesem semiterrestrischen Teilareal entsprechend großflächige, natürlich abgelagerte Sedimentschichten mit einer durch die Tonoberfläche im Untergrund eindeutig zu identifizierenden Untergrenze. Diese entspricht der Landoberfläche zu Beginn der Sedimentationstätigkeit im Herbst 2005. Voruntersuchungen mit Bodenradar zeigten eine Sedimentmächtigkeit im Schwemmfächer von bis zu 1 m.

Durch Bohrungen wurden in den Jahren 2013 und 2014 an insgesamt 5 Stellen Sedimentkerne aus dem Schwemmfächer entnommen (Abb. 8). Die Entnahme erfolgte manuell durch ein

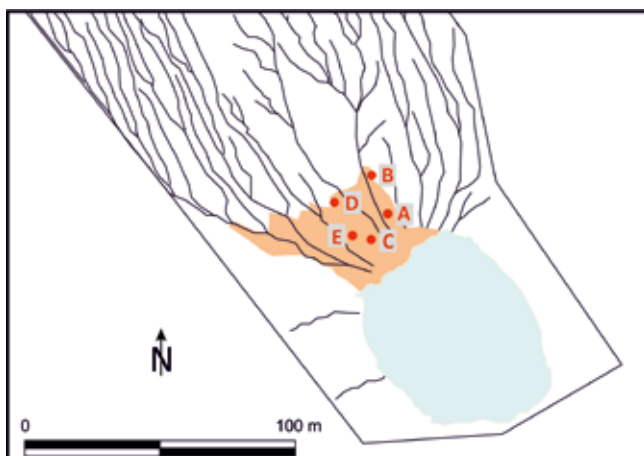


Abbildung 8

Lage der Bohrpunkte A bis E im Schwemmfächerbereich (hellbraun markierter Bereich; Erosionsrinnen sind als Linien und die Teichfläche als blaue Fläche dargestellt).

Location of drilling points A to E within the alluvial fan area (area marked with light brown; erosion gullies are marked as black lines and the pond as blue area).

mit Hammerschlägen eingetriebenes Beprobungsrohr mit innenliegendem Kunststoffliner (Eigenbau). Der Durchmesser der Bohrkern betrug 6 cm, die maximale Bohrtiefe betrug 1 m.

Alle Bohrkern zeigten vielfältige, wenn auch teilweise nur schwach erkennbare Schichtungen (Abb. 9). Die die Unterkante des Sedimentkörpers markierende Tonschicht (Wasserstauschicht, s. o.) wurde bei allen Bohrungen erreicht. Die Bohrkern wurden im Labor in jeweils 2 cm mächtige Scheiben aufgeteilt, aus denen Probematerial für die anschließende Analytik entnommen wurde. Untersucht wurde die Textur der Proben mittels Siebanalyse der Sandfraktion und Bestimmung des Grobbodenanteils (Siebung > 2 mm, 2000-630 µm, 630-200 µm sowie 200-63 µm). Weiterhin wurde der Glühverlust durch Erhitzen auf 430 °C im Muffelofen als grobes Maß für den Gehalt organischer Kohlenstoffverbindungen ermittelt (BLUME et al., 2011).



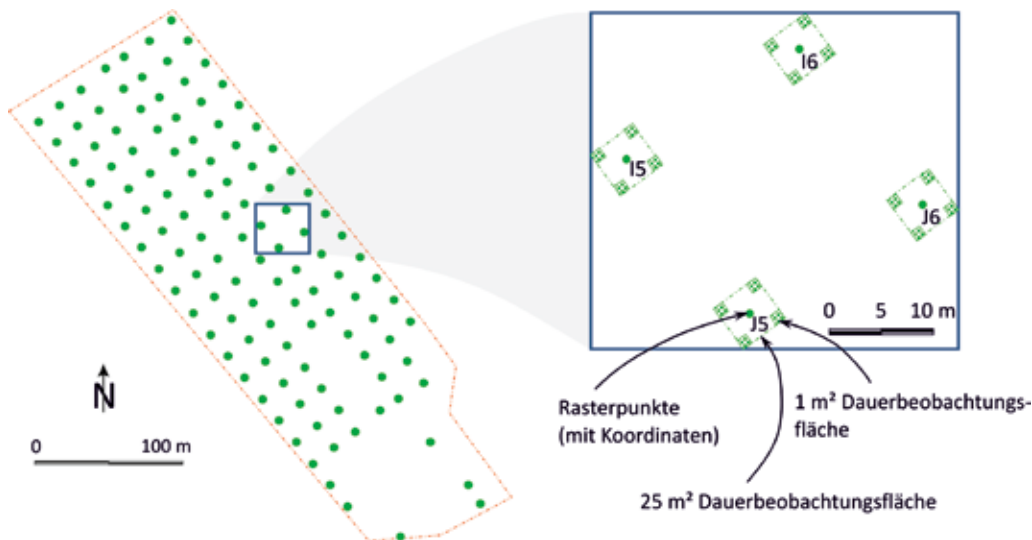
Abbildung 9

Beispiel für den Schichtaufbau der Bohrkern aus dem Schwemmfächer: Bohrkern E.

Example of layers in sediment cores from the alluvial fan: Core E.

Alle so gewonnenen Daten für die Schichtbereiche der Einzelbohrkerne wurden einer Clusteranalyse unterzogen, um ähnliche Schichtbereiche zu identifizieren und zusammenzufassen. Durchgeführt wurde die Clusterung in zwei Schritten: Mit einer ersten Analyse nach dem Single Linkage-Verfahren wurden die unähnlichsten Datensätze als Ausreißer markiert und separiert. Die verbleibenden Daten wurden in einem folgenden Auswertungsschritt nach dem Ward-Verfahren zu homogenen Gruppen zusammengeführt. Die Clusteranalyse wurde mit der Statistik-Software R (R Commander 2.1) durchgeführt. Für jede der so abgegrenzten Gruppen wurden Mittelwerte für die Korngrößenzusammensetzung und den Glühverlust berechnet.

Um auf dieser Grundlage ein „Normalprofil“ des Schwemmfächers erstellen zu können, wurde zusätzlich die mittlere untere Entnahmetiefe der in den jeweiligen Clustern zusammengefassten Teilproben berechnet. Für jedes Cluster konnte so die Untergrenze im Profil festgelegt werden. Das auf dieser Grundlage zusammengestellte Normalprofil fasst somit die gemittelten Textur- und Glühverlustwerte für die einzelnen Cluster der beiden Zusammenfassungsschritte in den jeweils ermittelten Tiefenlagen zusammen. Besser als die Einzelprofile allein lässt es den generellen Sedimentationsverlauf im Schwemmfächer des Hühnerwasser-Einzugsgebietes anhand eines generalisierten Schichtaufbaus sichtbar werden.

**Abbildung 10**

Lage der 120 Vegetationsbeobachtungsflächen im Einzugsgebiet Hühnerwasser und Anordnung der Dauerbeobachtungsflächen.

Locations of the 120 vegetation monitoring plots in the Hühnerwasser catchment and arrangement of the permanent observation plots.

3.3 Grundwasser- und Vegetationsentwicklung

Daten zur Grundwasserentwicklung werden seit Herbst 2005 kontinuierlich ermittelt. Eingesetzt werden Brunnenrohre, die manuell nach Fertigstellung des Einzugsgebietes durch Handbohrungen bis hinab zu der Tonschicht im Untergrund eingebaut wurden. Die Installation der ersten Rohre erfolgte im Herbst 2005, zunächst entlang des regelmäßigen Messrasters. Im Zuge der in den Folgejahren einsetzenden Strukturierung des Gebietes durch Oberflächenformungsprozesse wurde die Zahl der Pegelrohre von zunächst 14 auf aktuell 42 erhöht (Abb. 4). Die Messung erfolgt bei 18 Messstellen automatisch über Drucksensoren, an den übrigen Stellen manuell durch zweiwöchentliche Lichtlotmessungen.

Die Vegetationsentwicklung im Einzugsgebiet wird seit Herbst 2005 jährlich an Dauerbeobachtungsflächen dokumentiert, die an den insgesamt 120 Rasterpunkten des Messnetzes eingerichtet wurden (Abb. 10). Im rechten Winkel zum Rasternetz wurden an jedem der Rasterpunkte jeweils vier 1 m² Plots eingemessen und dauerhaft markiert, zusätzlich wird eine 25 m² große Fläche um jeden Rasterpunkt herum betrachtet (Abb. 10). Jährliche Erhebungen finden auf diesen Beobachtungsflächen regelmäßig im Zeitraum Juni bis August statt. Ermittelt werden der Artenbestand sowie die Deckungsgrade der einzelnen Arten. Die aufgefundenen Arten wurden zu funktionellen Artengruppen aggregiert (Gräser, Kräuter, krautige und holzige Leguminosen sowie sonstige Baum-/Straucharten). Separat für jede dieser Artengruppen wurden anhand der pro 1 m²-Beobachtungsflächen jährlich erhobenen Deckungsgradsummen mittlere Deckungsgrade für das Gesamtgebiet im Zeitraum 2005 bis 2016 errechnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

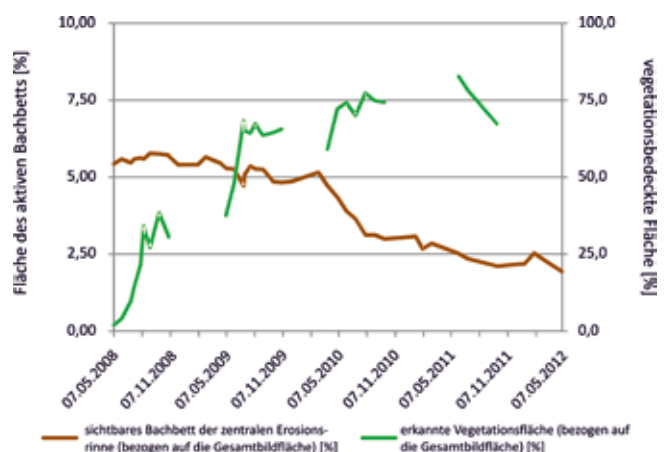
4.1 Erosionsgeschehen

Die Erosion setzte unmittelbar nach Fertigstellung des Einzugsgebietes ein und führte bereits nach wenigen Monaten im Winterhalbjahr 2005/06 zur Entstehung von Erosionsrinnen. Das rasche

Einsetzen und Fortschreiten der Erosionsprozesse und die sich erst allmählich entwickelnden stabilen Abflusspfade verhinderten die direkte Beobachtung durch klassische Ansätze zur Ermittlung der Erosionsleistung (z. B. durch den Einsatz von Probenehmern zur Quantifizierung der Sedimentfrachten). Entsprechend basierten die Analysen des Erosionsgeschehens auf indirekten Auswertungen. So wurden von SCHNEIDER et al. (2012, 2013) in umfangreichen Studien Geländemodelle und Luftbilder analysiert. Einen Ansatz zur visuellen Analyse der Erosionsprozesse für einen Teilausschnitt bieten die Aufnahmen einer Webcam.

Anhand der Webcam-Bildausswertung konnte für den betrachteten Ausschnitt der zentralen Erosionsrinne des Einzugsgebietes die zeitliche Entwicklung von Rinnen- und Vegetationsfläche dargestellt werden (Abb. 11).

Auffällig ist die Abnahme der aktiven Bachbettfläche ab dem Frühjahr 2010. Der Rückgang setzte mit Beginn der Vegetationsperiode 2010 ein, als der im Bildausschnitt sichtbare Bedeckungsgrad der Vegetation erstmals einen Wert von rund 60 % dauerhaft überschritten hatte. Im Gelände wurde ab diesem Zeitpunkt deutlich, dass die Erosionsrinnen sich zu linearen Besiedlungsstrukturen entwickelten. Ausgewählte Pflanzenarten (häufig feuchtebedürftige Arten wie *Phragmites australis*) wan-

**Abbildung 11**

Entwicklung der Erosionsrinnenfläche und Vegetationsfläche auf der Basis von Webcam-Bild-Auwertungen (jeweils prozentuale Flächenanteile an Gesamtbildfläche gemessen in Pixeln).

Development of erosion rill area and vegetation area based on webcam picture analysis (in both cases percentage amount of areas related to total picture area measured in pixels).

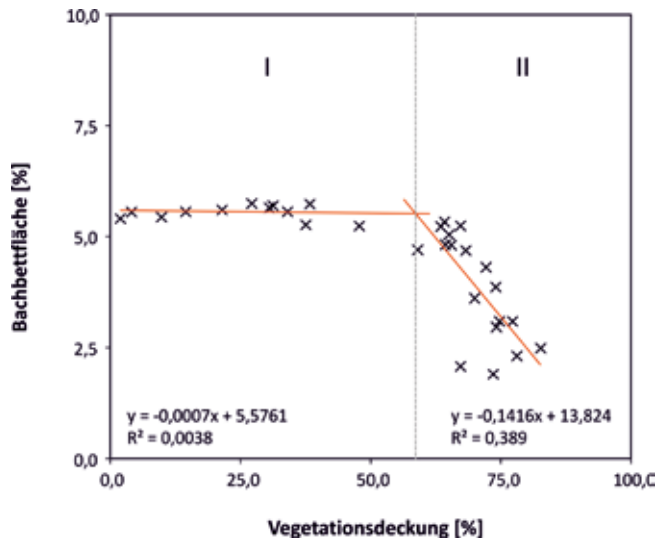


Abbildung 12

Zusammenhang zwischen Entwicklung der Vegetationsdeckung und aktiver Bachbettfläche als Ausdruck der Erosionstätigkeit basierend auf Webcambild-Auswertungen: Abschnitt I, kein Zusammenhang; Abschnitt II, signifikanter Zusammenhang ($r = -0,7341$, $p < 0,05$).
Relation between development of vegetation cover and active stream bed areas as a reflection of erosion activities based on webcam picture analysis: Section I, no correlation; section II, significant correlation ($r = -0,7341$, $p < 0,05$).

derten über die Erosionsrinnen bis in den oberen Bereich des terrestrischen Einzugsgebietsareals ein. Damit verbunden war ein „Zuwachsen“ der Erosionsrinnen, so dass nach dem Jahr 2012 bei den Auswertungen der Webcam-Bilder keine aktiven Bachbettbereiche mehr zu erkennen waren. Das Erosionsgeschehen wurde entsprechend durch den zunehmenden Bewuchs innerhalb der Abflussbahnen wirksam reduziert und die weitere Entwicklung des Erosionsrinnennetzes beendet. Der Zusammenhang zwischen Vegetations- und Erosionsrinnenentwicklung wird in Abbildung 12 deutlich. Der Kurvenverlauf ist zweigeteilt: Erst in Abschnitt II (Vegetationsbedeckung > 60 %) wird ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen Bachbettfläche und Vegetationsbedeckung sichtbar.

4.2 Sedimentationsgeschehen

Eine weitere indirekte Abschätzung des Erosions- und des damit verbundenen Sedimentationsgeschehen gibt die Untersuchung der um- und abgelagerten Massen. Im Einzugsgebiet Hühnerwasser bietet sich dazu der Schwemmfächerbereich im Zulauf zum Teich an. Im Teich selbst wurden in vorhergehenden Untersuchungen ebenfalls Sedimentkerne entnommen und deren Ergebnisse in der Publikation von KLEEBERG et al. (2010) vorgestellt.

Die Sedimentkerne der fünf Bohrungen im Schwemmfächerbereich des Einzugsgebietes oberhalb des Teiches zeigen einen recht unterschiedlichen Schichtaufbau (Abb. 13). Sichtbar wird, dass die Ablagerung der verschiedenen groben bis feineren Sedimentbestandteile sowohl räumlich wie zeitlich unterschiedlich war. Die ermittelten Glühverluste zeigen bis auf eine Ausnahme (Bohrkern D) ihre Höchstwerte im oberen Profilbereich, was als rezente Anreicherung organischen Materials aufgrund der Vegetationsentwicklung gedeutet werden kann. Eine ereignisbezogene Zuordnung der darunter liegenden Schichten ist nicht ohne weiteres möglich. Anders als bei den Sedimentschichten im Teich selbst ist im Schwemmfächerbereich nicht davon auszugehen, dass eine klare Chronologie der Ablagerungen anzutreffen ist, da vermutlich Verlagerungen der Abflussbahnen sowie lokal unterschiedliche Sedimentationsbedingungen zu Umlagerungen des Sediments und räumlich differenzierten Ablagerungsverhältnissen geführt haben.

Dennoch lassen sich aus dem durch Clusteranalyse der Einzelschichten abgeleiteten „Normalprofil“ des Hühnerwasserschwemmfächers wesentliche Abläufe der Gebietsentwicklung ablesen: Das aus den fünf Einzelbohrprofilen zusammengestellte Profil (Abb. 14) fasst die wesentlichen Merkmale des Sedimentkörpers und seine Entstehungsgeschichte zusammen. Auffällig ist, dass sich die durch die Single Linkage Clusterung im ersten Schritt ausgeschiedenen Schichten (Cluster S2 bis S9) im obersten und vor allem im untersten Bereich des Profils befinden, während die homogenen – durch die Wards-Methode zusammengestellten – Sedimentgruppen (W1 bis W4) im Tiefenbereich zwischen 10 und 38 cm angesiedelt sind. Diese Sedimentunterschiede deuten darauf hin, dass sowohl die Anfangsphase der

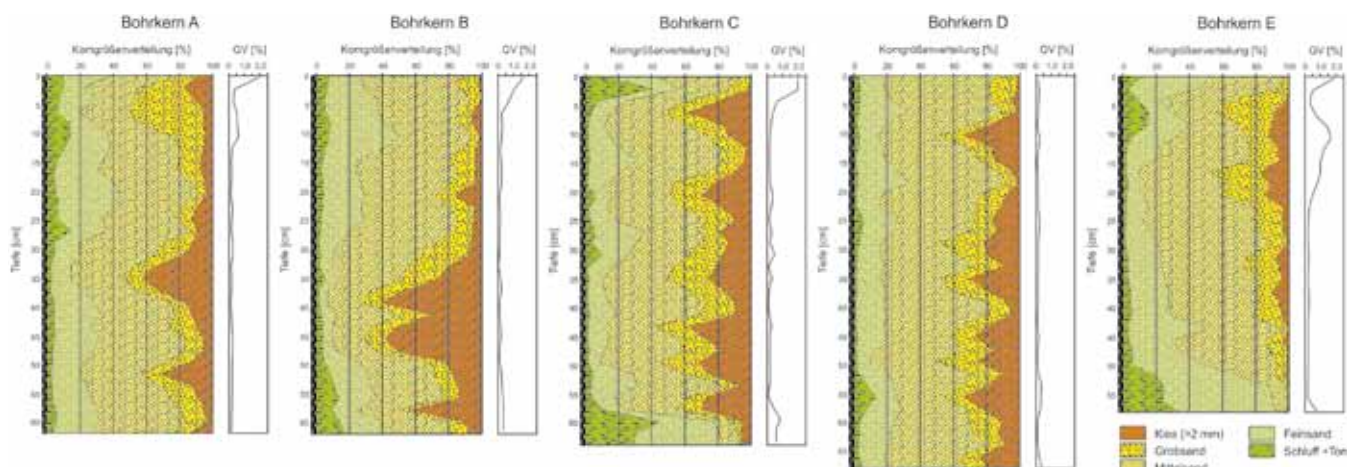
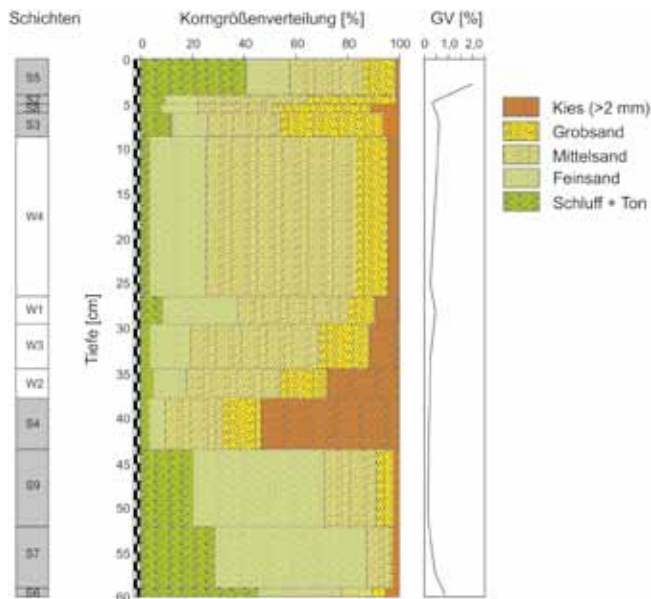


Abbildung 13

Übersicht Profileigenschaften der einzelnen Bohrkern aus dem Schwemmfächerbereich: Korngrößenverteilung und Glühverlust (GV) als Hinweis auf organische Substanz.

Overview of profile properties of single soil cores from the alluvial fan: Texture and loss on ignition (GV) as indicator of organic matter.

**Abbildung 14**

Abgeleitetes Normalprofil des Schwemmfächers als Ergebnis von Clusteranalysen der Einzelproben: Korngrößenverteilung und Glühverlust (GV) als Hinweis auf organische Substanz (die Schichtbezeichnungen S2 bis S9 entsprechen Clustern des Single Linkage-Verfahrens, die Schichtbezeichnungen W1 bis W4 entsprechen Clustern des Ward-Verfahrens)). *Deduced standard profile of the alluvial fan as result of cluster analyses of single samples: Texture and loss on ignition (GV) as indicator of organic matter (layer numbers S2 to S9 correspond to Single linkage clustering, layer numbers W1 to W4 correspond to Ward clustering).*

Sedimentbildung, als auch die aktuelle Phase durch deutlich voneinander zu unterscheidende Prozessabläufe gekennzeichnet waren bzw. sind.

Im untersten Profilbereich finden sich insbesondere Schichten, die durch höhere Feinmaterialanteile gekennzeichnet sind. Dabei spiegelt der unterste Bereich den Übergang zur unterliegenden Tonschicht wider (Schicht S6). Für das Material der darüber liegenden Schicht S7 ist anzunehmen, dass sich in diesem Tiefenbereich zumindest in den randlichen Schwemmfächerbereichen noch sandigeres Material bemerkbar macht, das während der Bauphase hier geringmächtig aufgeschoben wurde. Schicht S9 des Normalprofils ist somit als unterster, rein durch Sedimentationsprozesse geprägter Bereich des Sedimentkörpers zu betrachten, die beiden darunter liegenden Schichten besitzen noch Eigenschaften des durch den Bau des Geländes bestimmten Ausgangsmaterials im Übergang zwischen Sand- und Tonschicht. Oberhalb davon steigt der Anteil groben Sedimentmaterials sprunghaft an, was auf eine zunehmende Bedeutung von wassergebundener Erosion hinweist. Der Grobbodenanteil geht in den darüber lagernden Schichten allmählich zurück und lässt einen allmählichen Rückgang der Wassererosionsdynamik erkennen. Lediglich knapp unter der Oberfläche findet sich noch einmal eine leichte Zunahme. Unmittelbar unter der Bodenoberfläche lagern feinkörnigere Sedimente.

In dieser Schichtfolge spiegelt sich die Entwicklungsgeschichte des Landschaftsausschnitts Hühnerwasser-Einzugsgebiet insgesamt wider. Während der ersten beiden Jahre 2005 und 2006 wurde die noch unbedeckte Bodenoberfläche vielfach durch Wasser- und Winderosion angegriffen und umgebildet (HOFER

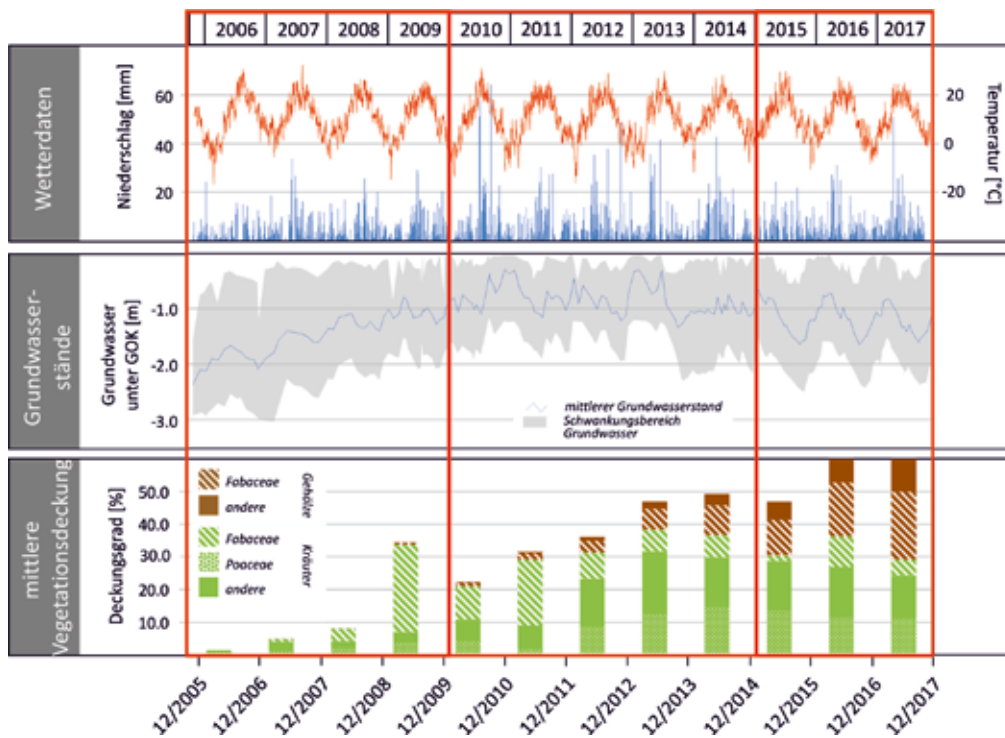
et al., 2011; MAURER et al., 2011). Die Winderosion führte rasch zu einer Umlagerung und Sortierung des oberflächlich anstehenden Substrates. Feineres Material wurde bevorzugt in den entstehenden Erosionsrinnen temporär abgelagert und durch Oberflächenabfluss bei Niederschlagsereignissen in Richtung Schwemmfächer transportiert. Bis etwa 2007/08 wuchs das Erosionsrinnennetzwerk und einzelne Starkregenereignissen führten zur Verlagerung von groben Materialien innerhalb der Hauptabflussbahnen. Die bereits aus den Webcam-Bildern erkennbare Beruhigung des Erosionsgeschehens ab dem Jahr 2009 führte zu einem deutlichen Rückgang größerer Sedimentbestandteile und zu einem wachsenden Anteil organischer Bestandteile (vgl. Schicht W1). Im weiteren Verlauf der Entwicklung ist von einem gleichmäßigeren Erosions- und Ablagerungsgeschehen auszugehen. Gleichzeitig entwickelte sich ein zunehmend dichter Schilfgürtel entlang des Teichufers auf dem Schwemmfächer, so dass Sedimente nicht mehr bis in den Teich transportiert wurden. Die im oberen Profilbereich wachsenden Glühverlustwerte bilden diese Stabilisierung des Systems gut ab. Das Vorkommen größerer Sedimente in den oberen Schichtbereichen deutet darauf hin, dass temporäre Starkregenereignisse, wie sie beispielsweise in extremer Form vor allem in den Sommermonaten der Jahre 2010 und 2013 auftraten, nur noch kurzzeitig zu einer Aktivierung der Erosionsprozesse führen konnten.

4.3 Grundwasser- und Vegetationsentwicklung

Die aktuelle Situation des Einzugsgebietes ist durch den inzwischen dichten Pflanzenbewuchs in vielfältiger Weise geprägt. Während das Erosionsgeschehen zum Erliegen gekommen ist, zeigen sich neue Wechselwirkungen zwischen Vegetation und ihrem Lebensraum hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit, sichtbar anhand der Entwicklung der Grundwasserstände.

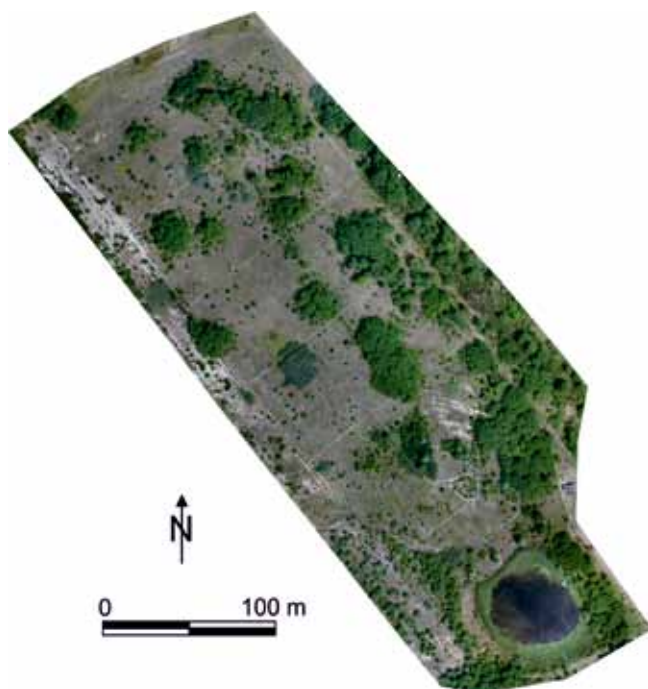
Die Entwicklung des lokalen Grundwasserkörpers im Hühnerwasser-Einzugsgebiet lässt sich grob in drei Phasen unterteilen: Bis zum Jahr 2010 ist eine insgesamt steigende Tendenz der Grundwasserstände sichtbar, die auf die allmähliche Auffüllung des unterirdischen Speicherraums hindeutet. Es lassen sich bereits in dieser Phase jahreszeitliche Schwankungen mit Minima im Spätsommer und Maxima im Frühjahr erkennen (Abb. 15). Die Jahre 2010 und 2012 waren durch hohe Niederschlagssummen gekennzeichnet (Messungen im Hühnerwassergebiet für 2010: 794 mm; 2012: 784 mm gegenüber dem langjährigen Mittel von 563 mm für die Wetterstation Cottbus des Deutschen Wetterdienstes, DWD), was Höchststände des Grundwassers im Beobachtungsgebiet verursachte. Ab 2013/14 war hingegen trotz teilweise nach wie vor hoher Niederschlagswerte (2016: 731 mm) eine Absenkung des mittleren Grundwasserflurabstands zu verzeichnen und ab 2015 sind deutliche saisonale Zyklen der Grundwasserstände zu erkennen.

Diese Absenkung ging einher mit der rasch zunehmenden Entwicklung einer Baumschicht im Einzugsgebiet (Abb. 15 und 16). Die Vegetationsentwicklung (ZAPLATA et al., 2013) startete im Jahr 2005 mit einer geringen Gesamtzahl von insgesamt 18 Pflanzenarten. Ihr bisheriges Maximum erreichte die Artenzahl der Gefäßpflanzen im Einzugsgebiet im Jahr 2014 mit insgesamt 177 Arten. Während in der Frühphase der Entwicklung krautige Pflanzen dominierten, wuchs der Anteil der durch Gehölze bedeckten Oberfläche seit 2013/14 stark an (braune Säulenabschnitte in Abbildung 15). Insbesondere die sich sehr rasch etablierende und derzeit dominierende Robinie


Abbildung 15

Entwicklung der Grundwasserstände und der Vegetationsdeckungsgrade im Einzugsgebiet Hühnerwasser von 2005 bis 2017 mit Entwicklungsphasen (rote Rahmen).

Development of groundwater levels and of vegetation cover in the Hühnerwasser catchment between 2005 and 2017 with developmental phases (red frames).


Abbildung 16

Luftbild des Hühnerwasser-Einzugsgebietes (Drohnenflug Juli 2017): Gehölzinseln etablieren sich v. a. im östlichen Teil des Gebietes.

Aerial photograph of the Hühnerwasser catchment (drone flight from July 2017): Trees and bushes taking hold particularly in the eastern part of the area.

(*Robinia pseudoacacia*) bildete teilweise bereits kleinere Gehölzbestände mit geschlossenem Kronenraum. Parallel dazu stiegen auch die Bedeutung und die Zahl der Nichtleguminosen unter den Gehölzarten deutlich an. Räumlich betrachtet zeigt der Baumbewuchs auffällige Unterschiede zwischen der westlichen und der östlichen Hälfte des Einzugsgebietes (Abb. 16). Diese Unterschiede sind wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass das Landschaftsbauwerk in mehreren Etappen errichtet wurde und dabei verschiedene Substrate verwendet wurden. Es wird davon ausgegangen, dass in diesen verschiedenen Kippsubstraten im unterschiedlichen Maße Diasporen der Robinie aus dem Tagebauvorfeld enthalten waren.

Die Annahme ist naheliegend, dass die zunehmende Wasseraufnahme durch die

rasch dichter und höher werdende Baumschicht zu der Absenkung des Grundwasserkörpers wesentlich beiträgt. Um diesen Zusammenhang und mögliche Rückkopplungen eines verminderten Wasserangebots auf die Baumentwicklung beobachten zu können, wurden an verschiedenen Bereichen verschiedene Messeinrichtungen installiert (innerhalb und außerhalb von Robinienbeständen). Beobachtet werden seit dem Jahr 2013 der Bestandesniederschlag und damit die Interzeptionswirkung der Baumschicht, mögliche Auswirkungen unterschiedlicher Vegetationstypen auf die Feuchte in den oberen Bodenbereichen (durch gezielte Bodenfeuchtemessung) sowie mögliche physiologische Reaktionen der Bäume auf wechselnde Wasserverfügbarkeit (Dendrometer, Saftflussmessungen).

5. Zusammenfassung

Die Besonderheit des künstlich geschaffenen Wassereinzugsgebietes Hühnerwasser als Landschaftsobservatorium liegt darin, dass hier ein sich sehr dynamisch entwickelndes, junges und transientes System betrachtet werden kann. Anders als bei anderen, meist auf gereiften Ökosystemen basierenden Landschaftsobservatorien lassen sich hier auf einer kurzen zeitlichen Skala eine Vielzahl von Entwicklungsphasen beobachten, die zur Erarbeitung eines besseren Verständnisses ökosystemarer Zusammenhänge genutzt werden können. Insbesondere der schrittweise Wandel von einem primär durch abiotische Strukturen und Prozesse gekennzeichneten System hin zu einem durch Lebewesen gesteuerten Systemgefüge lässt sich an diesem Landschaftsausschnitt exemplarisch ableiten. Die Bedeutung der Biologie für den Wasserhaushalt eines kleinen Einzugsgebietes wird hier beispielhaft deutlich.

Die bisherigen Beobachtungen lassen einen Landschaftsausschnitt erkennen, der sich in sehr kurzen Zeitabständen grundlegend funktionell verändert. Sie lassen jedoch auch klar erkennen, dass das Gefüge von ineinander greifenden Prozessen und damit die Selbstregulationsfähigkeit eines gereiften Ökosystems in der Anfangsphase seiner Entwicklung noch nicht in der Weise ausgeprägt ist, dass grundlegende ökosystemare Funktionen gänzlich erfüllt werden können (z. B. die Regulations- und Erhaltungsfunktion). Am Beispiel der Erosions-/Sedimentationsvorgänge sowie der Entwicklung des Grundwassersystems konnte gezeigt werden, dass es ohne die Kontrolle durch biotische Prozesse zu einer zumindest anfänglich höheren Prozessdynamik kommt. Es wird erwartet, dass dies im Rahmen der Reifung derartiger Systeme allmählich ab-, und die Fähigkeit zur Selbstregulation zunimmt.

Das Hühnerwasser-Einzugsgebiet bietet über die gezeigten Ergebnisse hinaus vielfältige Möglichkeiten, die Auswirkungen sich neu etablierender Prozessgefüge auf den Gesamtbilanzierungsraum zu beobachten (z. B. zeitliche Änderungen der Wasserbilanz: SCHAAF et al., 2017). Von Interesse ist dabei die Frage, über welche Skalen hinweg Einzelprozesse zusammenwirken müssen, um für das Gesamtsystem Auswirkungen zu haben. Dies wird Gegenstand weiterer Forschungen in dem Gebiet sein.

Conclusion

The specific feature of the Hühnerwasser artificially created catchment is the opportunity to observe a highly dynamic, new and transient system. Contrary to other landscape observatories, which are mainly based on mature ecosystems, this system offers the chance to monitor multiple developmental phases within short periods of time for deriving deeper insights into ecosystem functioning. Particularly the gradual change from a system primarily controlled by abiotic structures and processes to a system governed by biota can be examined exemplarily at this landscape section. The importance of biology for the water regime of a small catchment becomes visible.

The observations made to date show a part of a landscape which changes its basic functions in very short intervals. They also showed that during the initial phase of ecosystem development and compared with mature ecosystems, interactions between single processes are still missing and that the ability for self-regulation is not fully developed, which impedes full ecosystem functioning (e.g., regulation and maintenance). The example of erosion and sedimentation processes illustrate initially high process dynamics as control by biotic processes was initially absent. Decreasing dynamics and increasing abilities for self-regulation are expected during further development of such systems.

Furthermore, the Hühnerwasser catchment offers many opportunities to observe the effects of newly establishing processes on the behavior of the system as a whole (e.g., temporal changes of water balance: SCHAAF et al., 2017). It is thereby of interest to determine the relevant scales of single processes for affecting the whole system. Amongst other things, this question will be the subject of further research in this area.

Danksagung

Die Autoren danken der Lausitz Energie Bergbau AG (LEAG) für die Bereitstellung des Untersuchungsgebietes sowie der BTU Cottbus-Senftenberg und dem Land Brandenburg für die finan-

zielle Unterstützung des Monitoringprogramms. Die Bohrkernuntersuchungen wurden im Rahmen zweier Bachelorarbeiten von Martin Flemming und Markus Daldrop durchgeführt. Dank gilt hierbei Remo Ender für die technische Vorbereitung und Umsetzung der Bohrarbeiten. Die jährlichen Vegetationserhebungen wurden von Markus Zaplata und seit 2015 von Anne Brandenburger, Benito Schöpke und Melanie Takla durchgeführt. Gedankt sei zudem den Gutachtern für ihre hilfreichen Hinweise und Empfehlungen.

Anschrift der Verfasser

Werner Gerwin
Annika Badorreck
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg,
Forschungszentrum
Landschaftsentwicklung und Bergbaulandschaften (FZLB)
Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
werner.gerwin@b-tu.de
annika.badorreck@b-tu.de

Wolfgang Schaaf
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg,
Lehrstuhl Bodenschutz und Rekultivierung
Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
wolfgang.schaaf@b-tu.de

Christoph Hinz
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg,
Lehrstuhl Hydrologie und Wasserressourcenbewirtschaftung
Siemens-Halske-Ring 8, 03046 Cottbus
christoph.hinz@b-tu.de

Reinhard F. Hüttl
Helmholtz Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg, 14473 Potsdam
huettl@gfz-potsdam.de

Literaturverzeichnis

- BLUME, H.-P., STAHR, P. & P. LEINEWEBER (2011): *Bodenkundliches Praktikum*. – Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag), 3. Aufl., 266 S.
- ELMER, M., GERWIN, W., SCHAAF, W., ZAPLATA, M.K., HOHBERG, K., NENOV, R., BENS, O. & R.F. HÜTTL (2013): Dynamics of initial ecosystem development at the artificial catchment Chicken Creek, Lusatia, Germany. – *Environmental Earth Sciences* 69, 491-505
- GERWIN, W., SCHAAF, W., BIEMELT, D., ELMER, M., MAURER, T. & A. SCHNEIDER (2010): The artificial catchment Hühnerwasser (Chicken Creek): Construction and initial properties. – *Ecosystem Development Vol. 1*, BTU FZLB, Cottbus (online verfügbar: urn:nbn:de:kobv:co1-opus-20725)
- GERWIN, W., SCHAAF, W., BIEMELT, D., FISCHER, A., WINTER, S. & R.F. HÜTTL (2009): The artificial catchment „Chicken Creek“ (Lusatia, Germany) - A landscape laboratory for interdisciplinary studies of initial ecosystem development. – *Ecological Engineering* 35, 1786-1796
- HALLETT, P.D., LICHNER, L. & A. CERDÀ (2010): Biohydrology: coupling biology and soil hydrology from pores to landscapes. – *Ecohydrology* 3, 379-381
- HOFFER, M., LEHMANN, P., BIEMELT, D., STÄHLI, M. & M. KRAFCZYK (2011): Modelling subsurface drainage pathways in an artificial catchment. – *Physics and Chemistry of the Earth* 36, 101-112

- HOLLÄNDER, H.M., BORMANN, H., BLUME, T., BUYTAERT, W., CHIRICO, G.B., EXBRAYAT, J.-F., GUSTAFSSON, D., HÖLZEL, H., KRAUSSE, T., KRAFT, P., STOLL, S., BLÖSCHL, G. & H. FLÜHLER (2014): Impact of modellers decisions on hydrological a priori predictions. – *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 2065-2085
- HÜTTL, R.F., GERWIN, W., KÖGEL-KNABNER, I., SCHULIN, R., HINZ, C. & J.-A. SUBKE (2014): Ecosystems in transition: interactions and feedbacks with an emphasis on the initial development. – *Biogeosciences* 11, 195-200
- HÜTTL, R.F., GERWIN, W., SCHAAF, W., ZAPLATA, M.K. & C. HINZ (2014): A Critical Zone Observatory for detecting ecosystem transitions: the constructed catchment Chicken Creek (Germany). – *Procedia Earth and Planetary Science* 10, 46-51
- JØRGENSEN, S.E., PATTEN, B.C. & M. STRAŠKRABA (2000): Ecosystems emerging: 4. Growth. – *Ecological Modelling* 126, 249-284
- KLEEBERG, A., HERZOG, C., JORDAN, S. & M. HUPFER (2010): What drives the evolution of the sedimentary phosphorus cycle? *Limnologica* 40, 102-113
- MARANI, M., DA LIO, C. & A. D'ALPAOS (2013): Vegetation engineers marsh morphology through multiple competing stable states. – *PNAS* 110, 3259-3263
- MAURER, T. & H.H. GERKE (2011): Modelling aeolian sediment transport during initial soil development on an artificial catchment using WEPS and aerial images. – *Soil & Tillage Research* 117, 148-162
- MCGRATH, G.S., PAIK, K. & C. HINZ (2011): Microtopography alters self-organized vegetation patterns in water-limited ecosystems. – *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 117, G03021
- RAAB, T., KRÜMMELBEIN, J., SCHNEIDER, A., GERWIN, W., MAURER, T. & A. NAETH (2012): Initial Ecosystem Processes as Key Factors of Landscape Development - A Review. – *Physical Geography* 33, 305-343
- SCHAAF, W., BENS, O., FISCHER, A., GERKE, H.H., GERWIN, W., GRÜNEWALD, U., HOLLÄNDER, H.M., KÖGEL-KNABNER, I., MUTZ, M., SCHLOTTER, M., SCHULIN, R., VESTE, M., WINTER, S. & R.F. HÜTTL (2011): Patterns and processes of initial terrestrial-ecosystem development. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174, 229-239
- SCHAAF, W., BIEMELT, D. & R.F. HÜTTL (Eds., 2010): Initial development of the artificial catchment „Chicken Creek“ - monitoring program and survey 2005-2008. – *Ecosystem Development Vol. 2*, BTU FZLB, Cottbus (online verfügbar: urn:nbn:de:kobv:co1-opus-20732)
- SCHAAF, W., GERWIN, W. & A. BADORRECK (2017): Adaptation strategies to monitor the catchment dynamics at „Chicken Creek“. – *Geophysical Research Abstracts* 19, EGU2017-4384
- SCHAAF, W., POHLE, I., MAURER, T., GERWIN, W., HINZ, C. & A. BADORRECK (2017): Water balance dynamics of the constructed Chicken Creek catchment as influenced by 10 years of ecological development. – *Vadose Zone Journal* 16 (11), doi:10.2136/vzj2017.04.0074
- SCHNEIDER, A., GERKE, H.H., MAURER, T. & R. NENOV (2013): Initial hydro-geomorphic development and rill network evolution in an artificial catchment. – *Earth Surface Processes and Landforms* 38 (13), 1496-1512
- SCHNEIDER, A., GERKE, H.H., MAURER, T., SEIFERT, S., NENOV, R. & R.F. HÜTTL (2012): Evaluation of remotely-sensed DEMs and modification based on plausibility rules and initial sediment budgets of an artificially-created catchment. – *Earth Surface Processes and Landforms* 37, 708-725
- ZAPLATA, M.K., WINTER, S., FISCHER, A., KOLLMANN, J. & W. ULRICH (2013): Species-driven phases and increasing structure in early-successional plant communities. – *The American Naturalist* 181, E17-E27