

Wendepiegelkonzept zur dynamische Sedimentbewirtschaftung von Flusstauhaltungen am Beispiel Kraftwerk Leoben

Hannes Badura, Gabriele Harb und Christian König

Zusammenfassung

Von der Inbetriebsetzung des KW Leoben im Jahr 2006 bis 2010 konnte aufgrund fehlender Hochwasserereignisse bei gleichzeitig hoch angesetzter Mindestspülwassermenge keine Spülung des Stauraumes durchgeführt werden. Durch die Lage im Stadtgebiet stellte dieser Verlandungszustand ein zunehmendes Problem für den Hochwasserschutz im Stadtgebiet Leoben dar. Die Sohllagen und damit die Hochwassersicherheit auf Höhe der Stauwurzel konnten zu diesem Zeitpunkt nicht mehr vollständig gewährleistet werden und es bestand die Notwendigkeit der Anpassung der Entlandungsstrategie des Stauraums KW Leoben.

Mit Hilfe einer 2D Feststoffmodellierung wurde die Hochwassersituation für die verlandete Sohle bei unterschiedlichen Stauspiegel- und Hochwasserspiegellagen analysiert. Die Untersuchungen bildeten die Basis für die Entwicklung eines Wendepiegel- oder Kipppegelkonzepts, dass nach wasserrechtlicher Bewilligung am Kraftwerk Leoben umgesetzt wurde. Der Wendepiegel trägt zur dynamischen Sedimentbewirtschaftung des Stauraums bei; die geplante Funktionsweise wurde nach mehreren Hochwasserdurchgängen bestätigt. Gleichzeitig lässt der Wendepiegel qualitative Aussagen über den Verlandungszustand des Stauraums zu. Der Wendepiegel ist vollständig in die Kraftwerksleittechnik integriert, was einen einwandfreien Turbinenbetrieb bei teilabgesenktem Stauspiegel ermöglicht.

1 Wendepiegelkonzept

Der Wendepiegel wird vorrangig zur Einhaltung festgelegter Wasserspiegelkoten einer Stauhaltung bei Hochwasser verwendet. Wird die Steuerung einer Stauanlage durch einen Wendepiegel übernommen, so ist diese Steuerung nicht mehr vom Durchfluss, sondern vom Wasserstand abhängig. Der Wendepiegel ist somit ein Pegel zur Steuerung des Wasserspiegels an Stauanlagen. Beispielsweise ist an einigen Donaukraftwerken das Wendepiegelkonzept gängige und erprobte Praxis. Ein Wendepiegel wird zumeist in schützenswerten Dammlagen oder Infrastruktur wie Brücken situiert. Die festgelegte Wasserkote am Pegel wird durch Absenkung des Stauspiegels gehalten.

Im vorliegenden Bericht wird das Wendepiegelkonzept zur gezielten Sedimentbewirtschaftung eines Stauraums verwendet. Wird der hydraulische Längenschnitt eines Stauraums betrachtet, befindet sich der Wendepiegel im Schnittpunkt der Wasserspiegellagen bei Stauziel und bei abgesenktem Stau. Anders als beim üblichen Wendepiegel wird der Abstaubeginn über sedimenthydraulische Kriterien definiert. Das Abstauende bzw. das Ende der Funktion des Wendepiegels richtet sich nach der Höhenlage des Turbineneinlaufs, sodass Lufteinzug bei Turbinenbetrieb vermieden wird.

Nach einer Literaturrecherche konnte keine Definition des Wendepiegels, sondern ausschließlich Anwendungsbeispiele gefunden werden. Demnach muss ein Wendepiegel nicht zwingend im Schnittpunkt der Wasserspiegellagen liegen. Die vorliegende Anwendung kann daher als Spezialfall angesehen werden.

2 Stauraumbewirtschaftung mit Wendepiegel und Staulegung im Vergleich

Der Geschiebetransport in den Stauraum setzt mit Erreichen der kritischen Sohlschubspannung ein, und intensiviert sich mit zunehmendem Abfluss. Der Geschiebetransport im Fluss unterliegt daher der Dynamik einer Abflussganglinie. Mit einer Stauhaltung wird diese Dynamik überwiegend unterbrochen. Es kommt zur Akkumulation von Geschiebe und teils von Sedimenten, die ohne Stauhaltung als Schwebstoffe transportiert werden würden.

Anhand der schematischen Illustration in Abbildung 1 wird das Wendepiegel- und Spülkonzept vereinfacht dargestellt und verglichen.

Das Konzept der Staulegung sieht nach einer ein- bis mehrjährigen Akkumulationsphase von Sedimenten im Stauraum eine Entladung während einer Hochwasserphase vor. Während der Akkumulationsphase kann es besonders im Stauwurzelbereich zu Anlandungen kommen, die Einfluss auf die Hochwassersicherheit umliegender Flächen und Infrastruktur hat. Am Beispiel des KW Leoben ist das Stadtgebiet von Leoben betroffen. Die Effizienz der Entladung ist dabei abhängig von der Dauer der Hochwasserwelle und der Höhe des Wellenscheitels. Weitere Kriterien für Staulegungen finden sich in Harb et al. (2015).

Im Gegensatz zu einer Staulegung wird beim vorliegenden Wendepiegelkonzept der Stau bei jeder erhöhten Wasserführung, die mit Geschiebetransport einhergeht, abgesenkt. Dadurch wird ein Abtransport ankommender Sedimente erreicht; die Sedimente können sich an der Stauwurzel nicht ablagern. Fein- und Sandfraktionen werden durch den Stau transportiert. Kiesfraktionen werden zumindest in den zentralen Stau verlagert, wo in der Regel die Hochwassersicherheit gegeben ist. Die dort abgelagerten Kiesfraktionen können dann bei Staulegungen mobilisiert und durch den Stauraum transportiert werden.

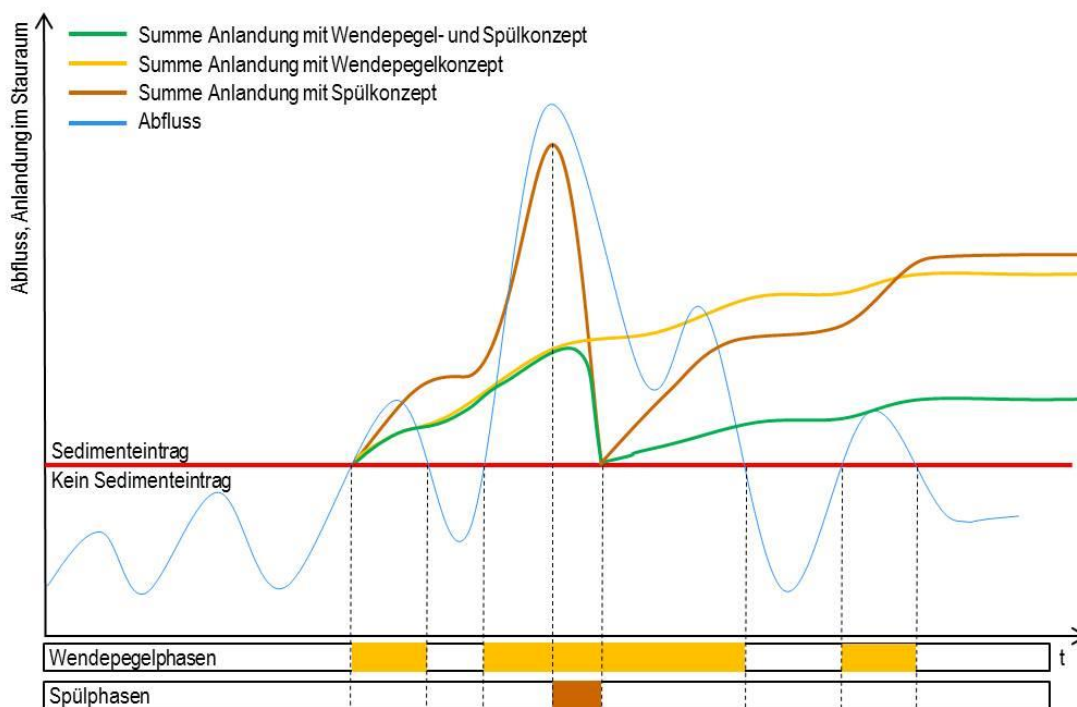


Abb. 1 Schematische Darstellung des Wendepiegel- und Spülkonzepts anhand der zeitlichen Anlandungsentwicklung im Stauraum im Vergleich

Für die Sedimentbewirtschaftung ergibt sich im Idealfall eine Kombination aus Wendepiegel- und Spülkonzept. Ob dies möglich ist, ist je nach Anlagenkonfiguration zu entscheiden.

3 Fallbeispiel Kraftwerk Leoben

Am Beispiel des Kraftwerk Leoben wird die Funktionsweise des Wendepiegel- und Spülkonzepts erläutert. Dabei wird hydraulische und leittechnische Umsetzung praxisnah dargestellt und auf die Erfolgskontrolle eingegangen.

3.1 Hydraulische Rahmenbedingungen

Basis des Wendepiegelkonzepts bilden Freeze-Core Entnahmen aus dem Stauraum, die Aufschluss auf die Kornverteilung im Stauraum geben. Als Beispiel ist in Abbildung 2 ein Probekern und die daraus ermittelte Kornverteilungskurve der Stauwurzel dargestellt.

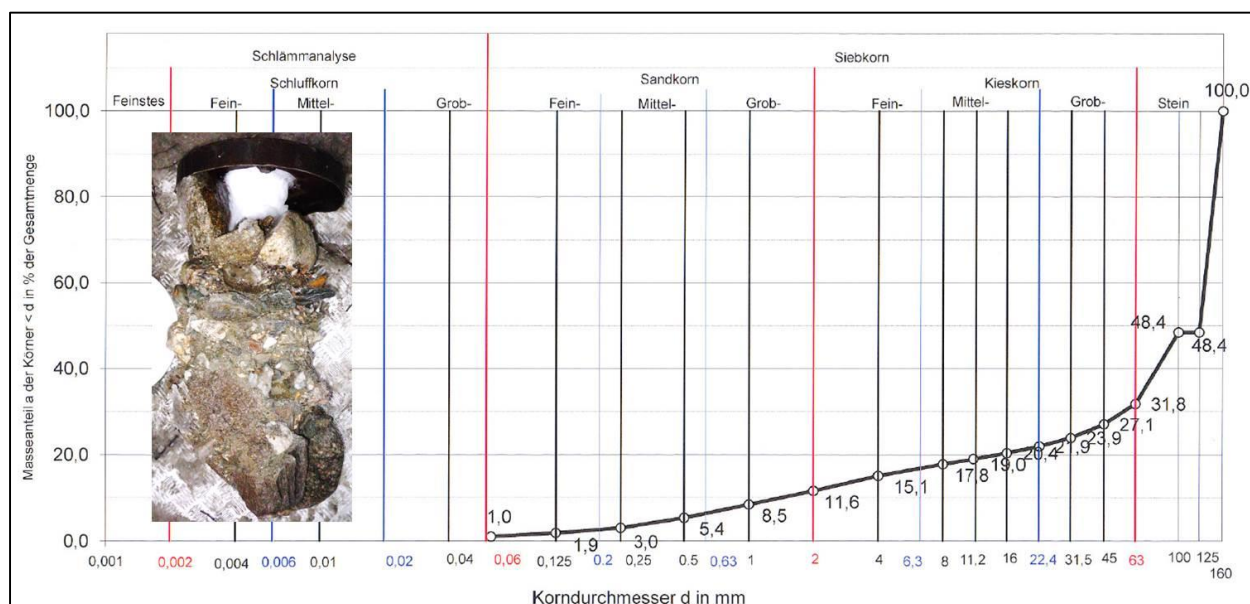


Abb. 2 Entnahmekern an der Stauwurzel; Sieblinie des gesamten Entnahmekerns

Es wurde an der Stauwurzel ein d_{50} Korndurchmesser von ca. 50 mm ermittelt. Der Geschiebetransport beginnt bei daher nach der Formel nach Shields bei einer Sohlschubspannung von ca. 40 N/m². Im Falle des Kraftwerk Leoben entspricht dies einem Abfluss von ca. 170 m³/s. Dies entspricht dem in der ÖWAV (2000) und DWA (2006) Schriftenreihen veröffentlichten Mindestabfluss für Spülungen (0,5 x HQ₁). Somit wurde im ersten Schritt der Beginn der Wendepiegelabsenkung am Wehr bestimmt. Die maximale Absenkung bei Betrieb des Wendepiegels ergibt sich aus der Einlaufsituation der Turbinen der Kraftwerksanlage und liegt bei 1,8 m unter Stauziel bei 220 m³/s. Mit dem 1D-hydraulischen Programm HEC-RAS wurde der Schnittpunkt der Wasserspiegellagen bei Abstaubeginn und Abstauende mit den dazugehörigen Abflüssen ermittelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt.

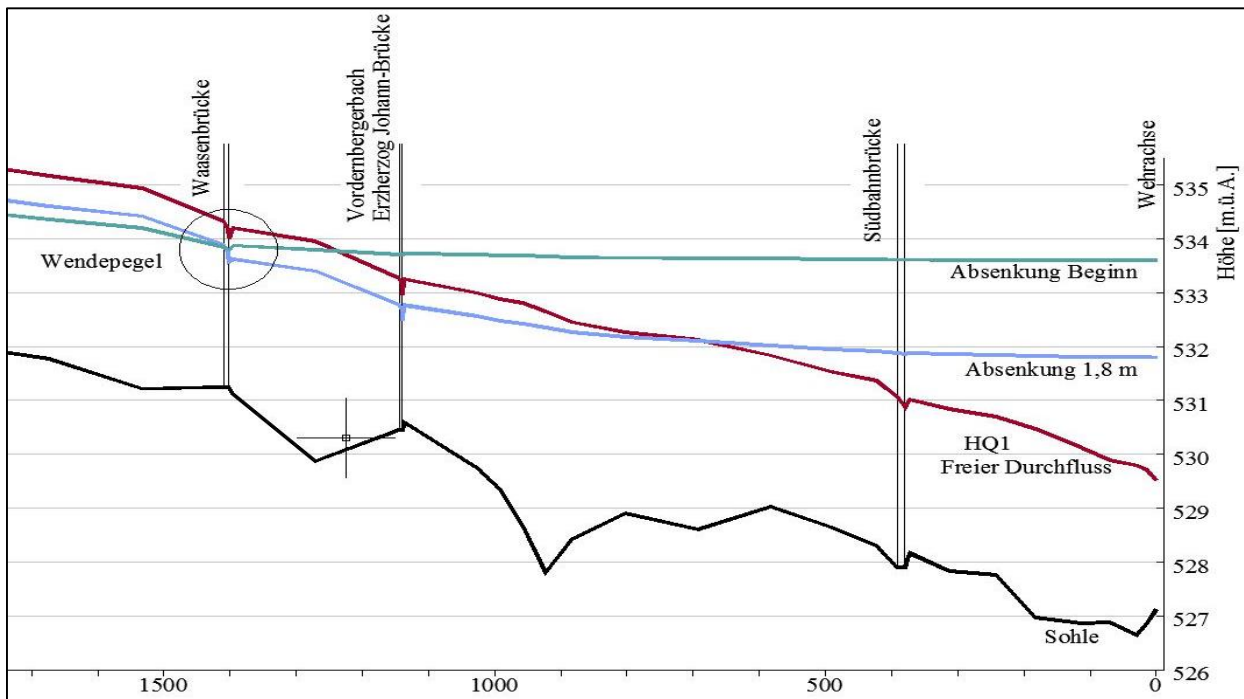


Abb. 3 Hydraulischer Längenschnitt des Stauraums mit der Lage des Wendepiegels

Im zweiten Schritt wurde die Konzeption im Detail am Institut für Wasserbau- und Wasserwirtschaft der TU Graz untersucht. Mit Hilfe eines 2D numerischen Feststoffmodells wurde die Hochwassersituation für die verlandete Sohle berechnet, um den Einfluss von unterschiedlichen Hochwasserwellen auf das Sohlniveau zu analysieren (vergl. Harb et al., 2015). Die Untersuchungen zeigen, dass die Absenkung des Wasserspiegels am Wehr ausreicht, um die Sohl Schubspannungen im gesamten Stauraum um mehr als 50% zu erhöhen (vergl. Abbildung 4). Die zur Zeit der Inbetriebnahme genehmigte Spülstrategie wurde nun dahingehend erweitert, dass ein frühzeitiges Absenken des Stauraums ab einem Abfluss von ca. $0,5 \times HQ_1$ ermöglicht wird, ohne dabei den Stau zu legen. Der Turbinenbetrieb kann während der Absenkung weiterhin aufrechterhalten werden.

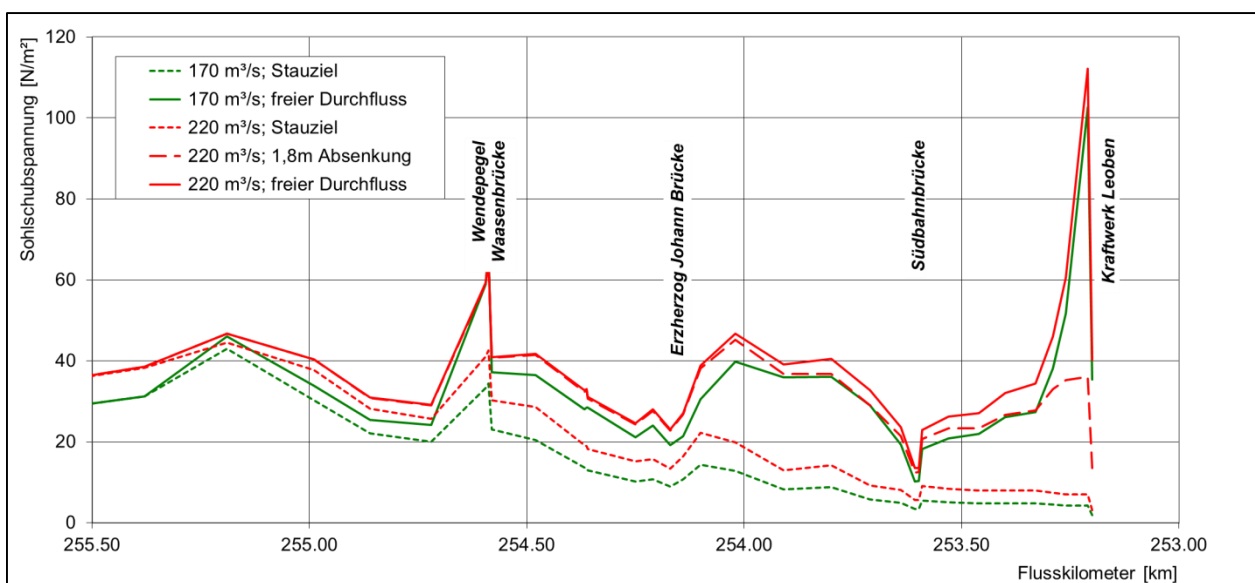


Abb. 4 Längenschnitt der Sohl Schubspannungen bei Stauziel, 1,8 m Absenkung und freiem Durchfluss

4 Leittechnische Umsetzung

Das hydraulische Wendepiegelkonzept wurde in die Leittechnik des Kraftwerks vollständig integriert. Das folgende Kapitel beschreibt die leittechnische Umsetzung des Wendepiegels. Ziel war es, die Wendepiegelregelung vollautomatisch bei laufendem Turbinenbetrieb umzusetzen.

4.1 Funktions- und Ablaufbeschreibung

Wird beim Wendepiegel ein Pegel von 533,95 m ü. A. erreicht, wird am KW Leoben der Oberwasserpegel so geregelt, dass der Wendepiegel auf +/- 10 cm gehalten wird. Das bedeutet bei steigender Wasserführung ein Abstauen am Kraftwerk. Das automatische Absenken des Oberwasserpegels am Kraftwerk durch die Wendepiegelregelung ist mit max. 1,8 m unter Stauziel begrenzt (533,60 m ü. A. minus 1,8 m). Ein weiterer Abstau (Spülung) erfolgt händisch durch das Betriebspersonal. Sollte es aufgrund der zu erwartenden Wasserführung zu keinem manuell gesteuerten Abstau kommen, wird ab diesem Zeitpunkt der Wendepiegel nach oben überschritten. Die Absenkung von 1,8 m am KW wird dann so lange gehalten, bis der Wendepiegel wieder unter die 533,95 m ü. A. fällt. Bei Unterschreitung dieses Wertes durch rückläufigen Abfluss oder der Mobilisierung von Verlandungen im Bereich des Wendepiegels wird das Stauziel am Kraftwerk nachgeregelt (der Oberwasserpegel am Kraftwerk steigt wieder) bis maximal zurück zum Stauziel (533,60 m ü. A.).

4.2 Messung

An der Wendepegelmessstelle ist eine redundante Pegelmessung mit zwei Drucksonden der Fa. Rittmeyer ausgeführt. Die Messstation wird vom öffentlichen Stromversorgungsnetz versorgt. Über einen redundanten Ladegleichrichter wird eine 24 V Batterie geladen, welche die Stromversorgung der Mess- und Übertragungseinrichtungen sicherstellt. Die damit überbrückbare Ausfallszeit der Versorgung beträgt ca. 24 Std.

Die Messwerte werden auf einer Automatisierungseinheit eingelesen und verarbeitet, bzw. weiter Richtung Kraftwerk übertragen.

4.3 Übertragung

Die Übertragung der Messwerte und Meldungen erfolgt mittels Ethernet-Protokoll über redundante Wege. Einmal über eine drahtgebundene Postmietleitung (Hauptweg) und einmal über GPRS-Signal übers Handynetz (Zweitweg). Die redundanten Wege werden über beidseitig ausgeführte Modems gemanagt. Im Kraftwerk ist ebenfalls eine Automatisierungskomponenten ausgeführt, welche als Gateway zum Prozess-LAN des Kraftwerks genützt wird.

Die leittechnische Topologie des Wendepiegelkonzepts ist in Abbildung 5 dargestellt.

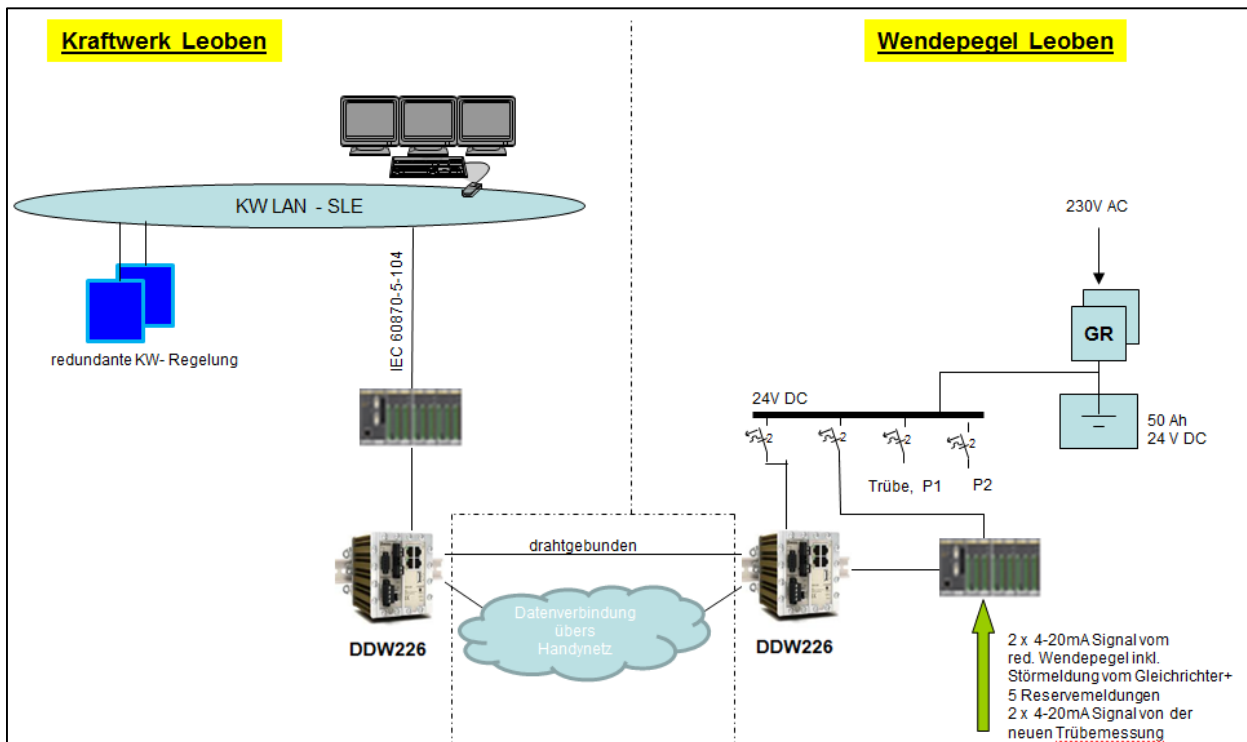


Abb. 5 Topologie des Wendepiegelkonzepts

4.4 Messwertverarbeitung, Visualisierung und Bedienung

Die Messwerte werden zur redundanten Kraftwerksregelung übertragen und einer entsprechenden Ausfallsbehandlung unterzogen. Dies erfolgt durch Gradientenüberwachung, Signalausfall sowie Bildung eines resultierenden Wendepiegels mit manueller bzw. automatischer Störmeldung. Die neue Wendepiegelregelung kann mittels Freigabebutton sowohl am Kraftwerks-Überwachungssystem als auch am Zentralwarten-Überwachungssystem freigegeben oder gesperrt werden.

5 Erfolgskontrolle

Drei Jahre nach bewilligter, adaptierter Entlandungsstrategie und regelmäßigen Stauabsenkungen mit dem Wendepiegelkonzept sowie Spülungen des Stauraums in den Jahren 2012 und 2014 wurden Profilaufnahmen des Stauraums durchgeführt und mit den vorangegangenen Sohlprofilen verglichen. Die Ergebnisse der Aufnahmen sind in den folgenden Abbildungen beispielhaft dargestellt.

Die blaue Linie stellt den Wasserstand während der Sohlgrundaufnahme im Oktober 2014 dar. Die anderen Linien bezeichnen die jeweiligen Sohllagen, wobei besonders auf die ursprüngliche Vermessung im Jahre 2006 (schwarze Linien), die höchsten Anlandungen im Jahre 2012 (rote und magenta Linien) und die schlussendlich entlandete Sohle im Jahr 2014 (grüne Linien) hingewiesen werden soll.

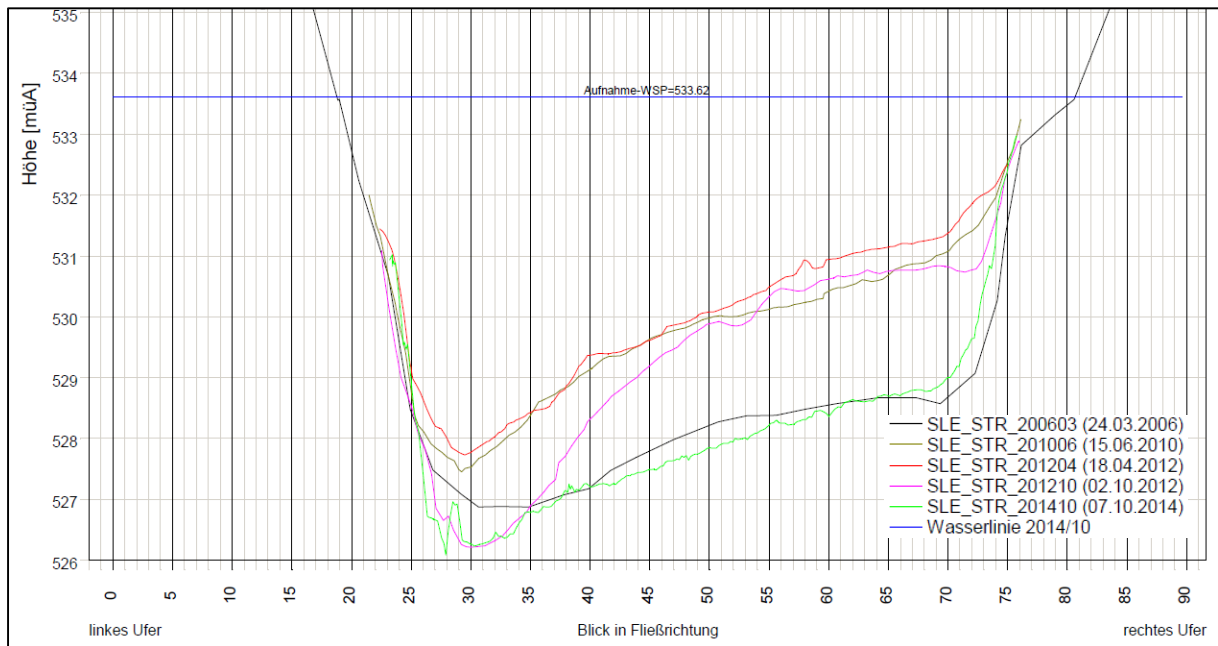


Abb. 6 Vergleich der Sohllagen im Stauraum Leoben am Beispiel des Profils 3 (VHP-km 253.33)

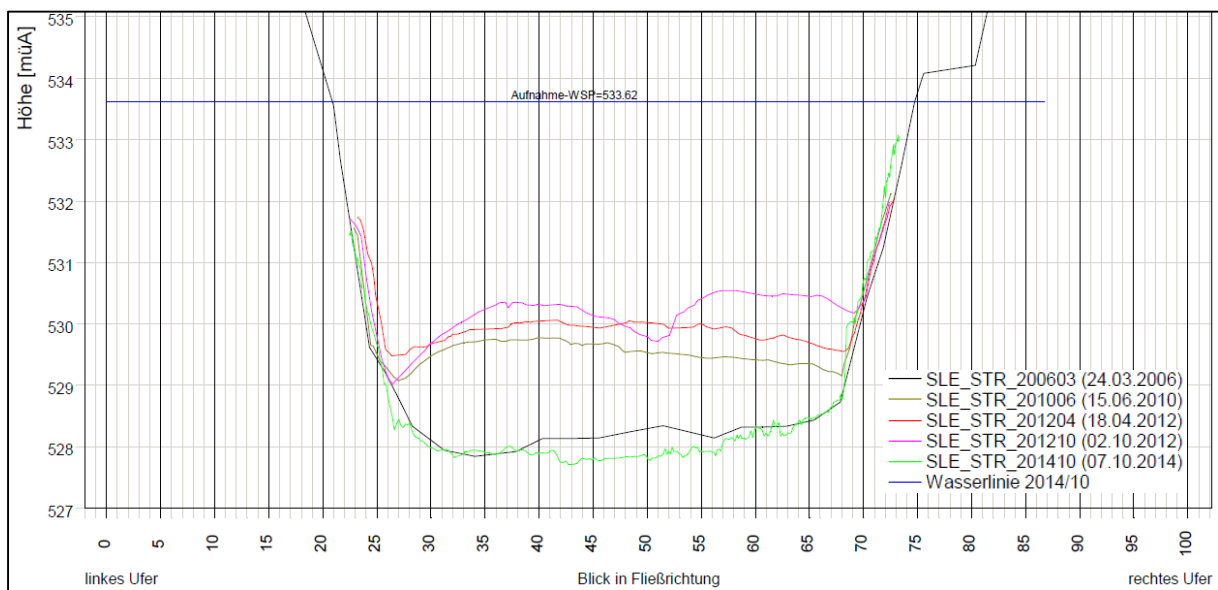


Abb. 7 Vergleich der Sohllagen im Stauraum Leoben am Beispiel des Profil 4a (VHP-km 253.53)

Die ursprünglichen Sohllagen im Stauraum Leoben (Jahr 2006) wurden mit dem nun vorliegenden Konzept wieder vollständig erreicht (Jahr 2014) und die erforderliche Hochwassersicherheit im Stauraum wiederhergestellt.

6 Zusammenfassung und Diskussion

Am Beispiel des Stauraumes Leoben wird praxisnah ein Wendepiegelkonzept vorgestellt, das zur dauerhaften Entlandung des Stauraums beiträgt. Naturmessungen und numerische Untersuchungen ergeben ein auf die Anlage individuell abgestimmtes sedimenthydraulisches Konzept. Die leittechnische Umsetzung ermöglicht eine dynamische Staubewirtschaftung bei laufendem Turbinenbetrieb. Die Kombination aus Wendepiegelbetrieb und Staulegungen bei

großen Hochwässern ermöglichen das Ziel eines nachhaltig entlandeten Stauraums. Die Vermessung der Sohllagen nach Inbetriebnahme des Wendepiegels bestätigt die Funktion des Konzepts nachweislich.

In den Untersuchungen konnte die in den DWA (2006) und ÖWAV (2000) veröffentlichte Mindestspülwassermenge von $0,5 \times HQ_1$ als Wert für das Einsetzen des Geschiebetransports bestätigt werden.

Hervorzuheben ist, dass der Wendepiegelbetrieb eine Vergleichmäßigung des Sedimenttransports ermöglicht. Die sedimenthydraulischen Bedingungen in der Stauhaltung nähern sich den Bedingungen ohne Stauanlage an. Es kann damit auch auf die ökologische Bedeutung des vorliegenden Konzepts hingewiesen werden.

Das Wendepiegelkonzept ist grundsätzlich auf andere Anlagen übertragbar. Die individuelle sedimenthydraulische Betrachtung der Stauhaltung und die Abstimmung auf den anlagen-spezifischen Bedarf wie Wehr- und Turbineneinlaufsituation, Stauraumgeometrie, Abstaugeschwindigkeit und Standsicherheit der Dämme ist in jedem Fall erforderlich.

Literatur

DWA (2006): „Entlandung von Stauräumen“. Themenband.

Harb, G.; Badura, H., Schneider, J., Zenz, G. (2015): Verhandlungsproblematik bei Wasserkraftanlagen mit niedrigen Fallhöhen, Österr Wasser- und Abfallw (2015) 67:315–324

ÖWAV (2000), Feststoffmanagement an Kraftwerksketten. Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 137

SHIELDS, A. (1936): Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung, Mitteilungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau, Berlin, Heft 26

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Dr. Hannes Badura
VERBUND Hydro Power GmbH
Europaplatz 2, A-1150 Wien
hannes.badura@verbund.com

DI Dr. techn Gabriele Harb
ehem. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz
Stremayrgasse 10/II, A-8010 Graz
gabriele.harb@gmx.at

Ing. Christian König
VERBUND Hydro Power GmbH
Europaplatz 2, A-1150 Wien
christian.koenig@verbund.com