



Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern  
Tiefbauamt des Kantons Bern, OIK II

BKW FMB Energie AG **BKW**®

## Verlandungsstudie Wohlensee

### Kurzfassung



Bern, 21.03.2011



**Flussbau AG** SAH  
dipl. Ing. ETH/SIA flussbau.ch

Schwarztorstr. 7, CH-3007 Bern Tel. 031 - 376 11 05 Fax 031 - 376 11 06



---

## Inhalt

<b>Zusammenfassung</b>	<b>iii</b>
<b>1 Anlass und Auftrag</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.2 Vorgehen	2
<b>2 Morphologie</b>	<b>3</b>
2.1 Aare und Wohlensee	3
2.2 Verlandungsprozesse	4
<b>3 Ein Blick zurück: Sedimenthaushalt in der Vergangenheit</b>	<b>5</b>
3.1 Geschiebehaushalt Aare	5
3.2 Verlandung Wohlensee	5
<b>4 Ein Blick nach vorn: Prognose der Verlandung</b>	<b>7</b>
4.1 Prozesse	7
4.2 Szenarien der Prognoserechnung	7
4.3 Geschiebehaushalt und Wasserspiegel Aare	7
4.4 Verlandung und Wasserspiegel Wohlensee	8
<b>5 Schlussfolgerungen</b>	<b>11</b>
5.1 Raum- und Zeitskalen	11
5.2 Mögliche Beeinträchtigung von Nutzungen	11
5.3 Steuerung der Verlandung	11
5.4 Schlussbemerkung	12

## Anhang

**Anhang A Entwicklung im Längenprofil**

**Anhang B Resultate Extrapolation Referenzszenario**



## Zusammenfassung

Der Wohlensee ist 1920 durch den Bau des Wasserkraftwerkes Mühleberg entstanden. Seither verlandet er mit Geschiebe und Feinsedimenten. In der vorliegenden Studie wurde die Verlandungsgeschichte des Sees aufbereitet und mit Hilfe von numerischen Simulationen die zukünftige Entwicklung der Kiessohle in der Aare und die Verlandung im Wohlensee prognostiziert. Es wird gezeigt, wie sich die Wasserspiegel bei Nieder- und Hochwasser in den nächsten 80 Jahren ändern werden.

Der Geschiebehaushalt der Aare zwischen der Stadt Bern und dem Wohlensee ist durch Kiesentnahmen in den 1960er und 1970er Jahren sowie durch die grossen Hochwasserereignisse von 1999 und 2005 geprägt. Sämtliches Geschiebe, das heute bzw. in Zukunft über das Wehr Engehalde transportiert wird, lagert sich in der Felsenau oder bei der Stauwurzel des Wohlensees ab. In der Folge wird der Hochwasserspiegel in der Felsenau in 80 Jahren einige Dezimeter höher liegen als heute.

Seit dem Aufstau des Wohlensees haben sich insgesamt 8.8 Mio. m<sup>3</sup> Feinsedimente abgelagert (jährlich knapp 100'000 m<sup>3</sup>). Bis der See vollständig verlandet sein wird, wird es mindestens 140 Jahre dauern. Der See wird dann zum langsam fliessenden Fluss. Das hat wenig Einfluss auf den Wasserspiegel bei Niedrigwasser. Der Hochwasserspiegel wird sich jedoch um einige Dezimeter erhöhen.

Mit der vorliegenden Studie wurde eine naturwissenschaftliche Grundlage geschaffen, welche es erlaubt, drängende Fragen für die Entwicklungsplanung rund um den Wohlensee zu beantworten. Massnahmen zum Hochwasserschutz, zur Erholungsnutzung und zum Naturschutz können so auf die unvermeidlichen Verlandungsprozesse abgestimmt werden.



---

# 1 Anlass und Auftrag

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Der Wohlensee ist im August 1920 mit dem Aufstau der Aare für das Wasserkraftwerk Mühleberg entstanden. Seither verlandet der See mit Kies und Feinsedimenten.

Der Wohlensee stellt heute ein wichtiges Naherholungsgebiet der Region Bern dar. Der künstlich geschaffene See ist im Laufe der Jahre zum bedeutsamen Standort für viele Tiere und Pflanzen geworden. Seit 1952 setzt sich der „Schutzverband Wohlensee“ für die Erhaltung des Wohlensees als Lebensraum ein.

Betreiber, Anstösser und kantonale Fachstellen sind bei der Entwicklungsplanung rund um den Wohlensee immer wieder auf offene Fragen gestossen, welche ohne Kenntnis der zukünftigen Entwicklung des Verlandungsprozesses nur schwer zu beantworten sind. Unter anderem bleiben die folgenden Fragen bis heute unbeantwortet:

- Welche Auswirkungen hat die Verlandung auf den Wasserspiegel im Wohlensee und in der Aare zwischen Bern und dem Wohlensee?
- Welchen Einfluss haben höhere Wasserspiegel auf den Betrieb des Kraftwerks Felsenau?
- Wie hoch sollen Uferwege und Einleitungen angelegt werden?
- Wo sollen Bootsplätze angelegt werden?
- Wie verändert sich die Uferlinie im See?
- Welchen Einfluss hat die Verlandung auf die Hochwassersicherheit der Anrainer?
- Welchen Einfluss hat sie auf das Grundwasser?

Um diese Fragen beantworten zu können, haben das AWA, das TBA und die BKW die Verlandungsprozesse in einer umfassenden Studie untersuchen lassen. Mit der Studie "Verlandung Wohlensee" sollen die folgenden Ziele erreicht werden:

- Prognose der Stauraumverlandung in 80 Jahren sowie im Endzustand,
- Prognose der Geschiebeablagerung bei der Stauwurzel,
- Aufzeigen der Auswirkungen der Verlandung auf den Wasserspiegel im Wohlensee und in der Aare, insbesondere für Hochwasserereignisse sowie für den Betrieb des Kraftwerkes Felsenau (Betreiberin Energie Wasser Bern (ewb)).

Der vorliegende Bericht ist eine Kurzfassung. Ergänzend zu diesem Bericht bestehen weitere detaillierte Dokumente zur wissenschaftlichen Studie. Die Verlandungsstudie ist ein naturwissenschaftliches Grundlagendokument für spätere Entwicklungsplanungen rund um den Wohlensee.

## 1.2 Vorgehen

Der Untersuchungsperimeter reicht vom Wehr Engehalde bis zum Wehr Mühleberg (Abb. 1). Es wurden also sowohl der Geschiebetransport in der Aare als auch die Verlandung des Wohlensees mit Feinsedimenten untersucht.

In einem ersten Modul „Grundlagenbeschaffung und Verlandungsgeschichte“ wurden die Grundlagendaten aufbereitet und ausgewertet. Es wurden mehrere hundert Querprofilaufnahmen ausgewertet, die Ablagerungsvolumina bestimmt und daraus Sedimentfrachten bilanziert. So konnte die Verlandungsgeschichte aufgearbeitet und der aktuelle Grad der Verlandung abgeschätzt werden.

In einem zweiten Modul wurden die Erkenntnisse und Trends aus der Verlandungsgeschichte mit einem Gedankenmodell in die Zukunft übertragen. Über eine Volumenbilanz in einzelnen Querschnitten wurde ein Verlandungszustand nach 80 Jahren prognostiziert und die Dauer bis zur vollständigen Verlandung ermittelt.

Im dritten Modul wurde ein numerisches 1d-Geschiebe- und Schwebstofftransportmodell (MORMO) erarbeitet. Damit wurden zukünftige Sohlen- und Wasserspiegellagen zwischen Wehr Engehalde und Wehr Mühleberg für verschiedene Szenarien berechnet und die Verlandungsprognose mit dem Gedankenmodell aus dem Modul 2 verifiziert.



Abb. 1: Untersuchungsperimeter der Studie.



## 2 Morphologie

### 2.1 Aare und Wohlensee

Der Lauf der Aare ist durch Talmäander charakterisiert. Die Mäanderbögen werden meist durch die anstehende Molasse aus Sandstein und Nagelfluh begrenzt. Bei lokalen Verbreiterungen sind Kiesinseln in der Aare entstanden, auf welchen sich im Laufe der Zeit Pioniervegetation wie beispielsweise Weiden ansiedeln konnte. Mit dem Stau der Aare wurden die Talmäander zwischen Vorderdettige und dem Wehr Mühleberg eingestaut.



Abb. 2:  
Links: Fähre bei Reichenbach  
(km 37.400). Rechts:  
Blick von der Hallenbrücke gegen die  
Fließrichtung  
(km 38.100)

Der Wohlensee kann morphologisch in drei unterschiedliche Abschnitte unterteilt werden (Abb. 3). Zwischen Vorderdettige und Ey entspricht das Bild heute noch den Talmäandern aus der Zeit vor dem Einstau des Sees. Das Gerinne ist in diesem Abschnitt relativ schmal und der Querschnitt wurde durch Aufschüttungen in den 1940er und 1950er Jahren zusätzlich reduziert.

Zwischen Ey und Hofe hat sich seit dem Einstau des Wohlensees ein verzweigtes Gerinne gebildet. Der Abschnitt ist dynamisch und die Sandbänke können während Hochwasserereignissen umgelagert werden. Der Talweg hat seinen Lauf seit dem Einstau verlagert und es haben sich zusätzliche Kanäle und Rinnen gebildet.

Der Seebereich zwischen Hofe und dem Wehr Mühleberg ist geprägt durch grosse Wassertiefen. Feinsedimente haben sich anfänglich nur an den Kurveninnenseiten des alten Aarelaufes abgelagert. Heute werden sie bis in die tiefen Seebereiche transportiert und abgelagert.

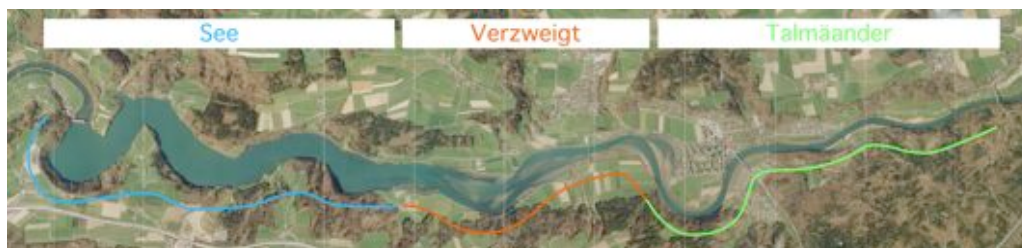


Abb. 3:  
Heutige Morphologie  
des Wohlensees:  
Unterteilung in 3  
Abschnitte  
Fließrichtung von  
rechts nach links.

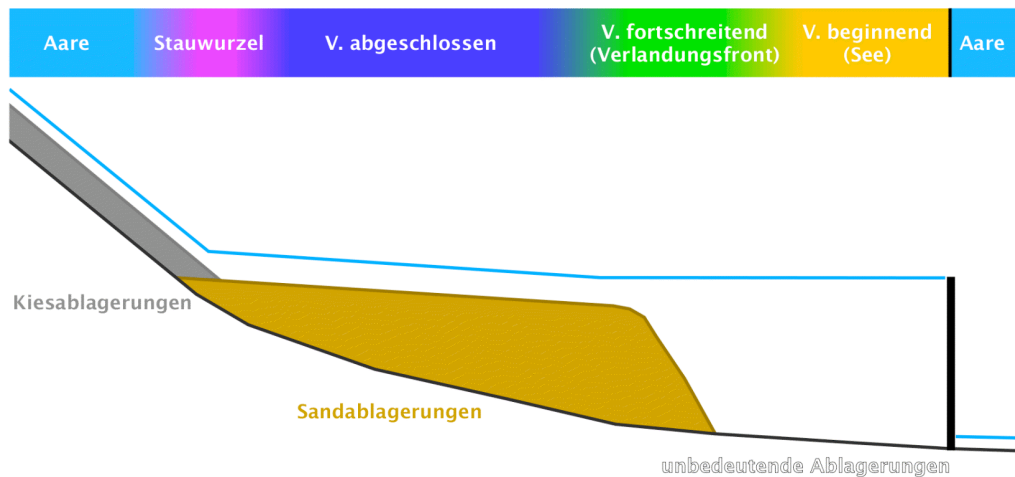
## 2.2 Verlandungsprozesse

Der Abschnitt zwischen Wehr Engehalden und Wehr Mühleberg kann in fünf Abschnitte mit unterschiedlich ablaufenden Prozessen unterteilt werden. Diese sind nachfolgend kurz beschrieben. Auf die Ablagerungsprozesse wird im folgenden Kapitel näher eingegangen. Die Grenzen zwischen den Abschnitten sind fließend.

- **Aare:** Die Sohlenlage hängt vom Geschiebeeintrag aus dem Oberwasser (Geschiebedurchgang beim Schwellenmätteli) und von der Verlandung bei der Stauwurzel ab.
- **Stauwurzel:** Dieser Abschnitt ist durch eine wechselseitige Ablagerung von Kies und Feinsedimenten gekennzeichnet. Die Sohlenlage wird durch den Geschiebeeintrag und durch die Verlandung im daran anschliessenden Abschnitt des Wohlensees bestimmt.
- **Staustrücke mit abgeschlossener Verlandung:** Abschnitt, in welchem der Verlandungsprozess abgeschlossen ist bzw. die abgelagerten Feinsedimente nur noch bei Hochwasserereignissen remobilisiert und umgelagert werden. Die mittlere Sohlenlage verändert sich durch das Längenwachstum der Ablagerung.
- **Staustrücke mit fortschreitender Verlandung (Verlandungsfront):** Abschnitt, in welchem sich der Grossteil der anfallenden Schwebstoffe abgelagert.
- **Staustrücke mit beginnender Verlandung (See):** Bis zum heutigen Zeitpunkt hat die Sedimentation den Gerinnequerschnitt noch nicht massgeblich vermindert. Die Wassertiefen sind nach wie vor gross.

Für alle hier bezeichneten Fluss- und Seeabschnitte gilt, dass Verlandungsgrad und Wasserspiegellage einerseits vom Abfluss und der Sedimentzufuhr aus dem Oberwasser und andererseits von den Wasserspiegellagen im Unterwasser bestimmt werden. In Abb. 5 sind die verschiedenen Abschnitte für den heutigen Zustand lokalisiert.

Abb. 4:  
Schematische Darstellung der Ablagerungsprozesse im Längenprofil mit entsprechender Unterteilung in Abschnitte mit unterschiedlicher Verlandung (V.).



### 3 Ein Blick zurück: Sedimenthaushalt in der Vergangenheit

#### 3.1 Geschiebehaushalt Aare

Der Geschiebehaushalt der Aare von 1967 bis 2005 auf dem Abschnitt zwischen dem Wehr Engehalde und dem Wohlensee ist durch zwei unterschiedliche Phasen geprägt:

In der Zeit vor 1986 wurden für den Bau der Nationalstrassen bzw. für die Absenkung des Unterwasserspiegels am Kraftwerk Felsenau an verschiedenen Stellen insgesamt über 130'000 m<sup>3</sup> Kies entnommen. Weil im gleichen Zeitraum auch im Schwellenmätteli oberhalb des Untersuchungsgebietes 132'500 m<sup>3</sup> Geschiebe entnommen wurden, ist bis 1985 kein oder nur sehr wenig Geschiebe über das Wehr Engehalde in den untersuchten Abschnitt eingetragen worden. Die Kiesentnahmen haben deshalb zu einer massiven Sohleneintiefung geführt. Beim Löchligut wurden Eintiefungen der mittleren Sohle zwischen 1967 und 1985 von über anderthalb Metern beobachtet. Unterhalb des Worblaufenviaduktes hat die Aare ihr Geschiebedefizit durch Sohlenerosion teilweise ausgeglichen, so dass bei der Felsenaubrücke rund 25'000 m<sup>3</sup> Kies (1'400 m<sup>3</sup>/a) transportiert wurden.

Nach 1986 wurden die Kiesentnahmen auf dem untersuchten Abschnitt eingestellt und im Schwellenmätteli reduziert. Mit dem Hochwasser von 1999 ist dann erstmals wieder eine bedeutende Geschiebemenge über das Wehr Engehalde in den Aarelauf unterhalb der Stadt Bern eingetragen worden. Von diesem Zeitpunkt an haben grössere und kleinere Hochwasserereignisse – und insbesondere das Hochwasser vom August 2005 – den Abschnitt mit Geschiebe alimentiert.

Der Geschiebeeintrag von insgesamt 120'000 m<sup>3</sup> über den Zeitraum von 1999 bis 2005 hat dazu beigetragen, die früher entstandenen „Löcher“ in der Aaresohle teilweise wieder aufzufüllen. Beim Löchligut hat sich die vorher eingetiefte Sohle um maximal einen Meter wieder angehoben. Die Sohle hat zwischen dem Wehr Engehalde und der Felsenau ihre ursprüngliche Kote aber noch nicht erreicht. Man kann davon ausgehen, dass sich bei entsprechender Geschiebezufuhr auch in Zukunft noch Geschiebe auf diesem Abschnitt ablagern wird.

Von Reichenbach an flussabwärts hat sich das eingetragene Geschiebe entlang des Aarelaufes relativ gleichmässig bis zur Stauwurzel abgelagert. Die Sohlenlage ist dabei um rund 10 cm angewachsen.

#### 3.2 Verlandung Wohlensee

Im Anhang A ist ein Längenprofil der mittleren Sohle vom Wehr Engehalde bis zum Wehr Mühleberg dargestellt.

Seit 1920 haben sich im Stauraum 8.8 Mio. m<sup>3</sup> Material abgelagert. Die Ablagerungsraten betragen im Durchschnitt knapp 100'000 m<sup>3</sup>/a. Aus der numerischen Simulation wurde für den Zeitraum von 1967 bis 2009 ein Schwebstoffeintrag von 4.94 Mio. m<sup>3</sup> ermittelt. 15 % des Eintrags wurden über das Wehr Mühleberg in den Unterlauf abgegeben, 85 % davon oder 4.21 Mio. m<sup>3</sup> wurden abgelagert. Zum Sedimenteintrag und -austrag muss eine unbestimmte Menge sehr feiner Sedimente addiert werden, welche auch bei kleinen Fliessgeschwindigkeiten nicht abgelagert, sondern in den Unterlauf der Aare abgegeben werden.

Die jährlich eingetragenen Mengen schwanken mit der Anzahl und Grösse von Hochwasserereignissen im Einzugsgebiet des Wohlensees. Anders als beim Geschiebe wurden im

Hochwasserjahr 2005 nicht überdurchschnittlich viele Schwebstoffe in den Wohlensee eingetragen und abgelagert. In den Jahren 1970 und 1999 waren die Einträge mit geschätzten 320'000 m<sup>3</sup> bzw. 380'000 m<sup>3</sup> hingegen besonders gross.

Auf dem Abschnitt zwischen der Stauwurzel und der Wohleibrücke kann die Verlandung als abgeschlossen betrachtet werden (Abb. 5). Das heisst, dass der weitaus grösste Teil der in den See eingetragenen Sedimente durch diesen Abschnitt hindurch transportiert und in tieferen Bereichen des Sees abgelagert werden. Nur ein kleiner Teil der Sedimente lagert sich als Folge des Längenwachstums des Verlandungskörpers noch auf diesem Abschnitt ab und die Sohlenlage erhöht sich langsam aber stetig. Die Geometrie der Sohle ändert sich laufend. Wenn bei Hochwasser Sedimente umgelagert werden, entstehen neue Sandbänke und Teilgerinne. Dies insbesondere auch dort, wo die Fliessgeschwindigkeiten durch die Vegetation verändert werden.

Abb. 5:  
Abschnitte des Wohlensees mit unterschiedlichen Verlandungsraten (dunkelblau: abgeschlossene Verlandung, grün: fortschreitende Verlandung, gelb: beginnende Verlandung.)  
Fließrichtung von rechts nach links



Vom ursprünglichen Seevolumen von 25 Mio. m<sup>3</sup> sind bis heute 8.8 Mio. m<sup>3</sup> mit Sedimenten aufgefüllt. Geht man von einem Sedimentvolumen von 23.2 Mio. m<sup>3</sup> bei vollständiger Verlandung aus, ist der Stauraum heute zu 38 % mit Sedimenten gefüllt.

## 4 Ein Blick nach vorn: Prognose der Verlandung

### 4.1 Prozesse

Die Verlandungsfront der Feinsedimentablagerungen, welche heute unterhalb der Wohlleibrücke liegt (vgl. Abb. 5), verschiebt sich mit der Zeit weiter seeabwärts und der Verlandungskörper wächst in den See hinein. Der Endzustand der Verlandung des Stauraums ist dann erreicht, wenn die Verlandungsfront beim Wehr Mühleberg angelangt ist. Nach diesem Zeitpunkt werden im Stauraum keine Feinsedimente mehr abgelagert, sondern durch das Wehr hindurch in den Unterlauf der Aare weitertransportiert. Die Kontinuität für Feinsedimente ist dann entlang der Fluss- und Seeachse wieder hergestellt. Umlagerungen der Feinsedimente im Stauraum sind jedoch immer noch möglich.

Das in der Aare transportierte Kies wird sich weiterhin im Stauwurzelbereich ablagern und die Kiessohle wird weiter wachsen. Dieser Prozess wird auch nach der vollständigen Verlandung des Stauraums weiter fortschreiten.

### 4.2 Szenarien der Prognoserechnung

Mit Hilfe des geeichten numerischen Modells wurde der Geschiebetransport in der Aare sowie die Verlandung des Wohlensees mit Schwebstoffen über eine Periode von 80 Jahren simuliert. Die Simulation wurde für verschiedene Szenarien mit jeweils unterschiedlichen hydrologischen oder hydraulischen Randbedingungen durchgeführt (Tab. 1).

Für das Referenzszenario wurden Randbedingungen definiert, welche den heute herrschenden bzw. bekannten Verhältnissen möglichst nahe kommen. Es wurde angenommen, dass für den Hochwasserschutz in der Stadt Bern im Schwellenmätteli eine beschränkte Menge Kies entnommen wird. In weiteren Szenarien wurde die zukünftige Entwicklung des Stauraums bei einer Häufung von Hochwasserereignissen bzw. bei einer intensiven Kiesbewirtschaftung im Schwellenmätteli untersucht.

Bezeichnung	Abflussganglinie	Geschiebeeintrag <sup>1</sup>
Referenzszenario	80 J. mit 4 HW	3'000 m <sup>3</sup> /a
Häufung von HW-Jahren	80 J. mit 8 HW	3'000 m <sup>3</sup> /a
Intensive Bewirtschaftung im Schwellenmätteli	80 J. mit 4 HW	1'500 m <sup>3</sup> /a

Tab. 1:  
Übersicht über die  
Szenarien der  
Extrapolation

Die Resultate der Simulation für das Referenzszenario sind im Anhang B im Längenprofil dargestellt und werden in den folgenden beiden Kapiteln weiter ausgeführt.

### 4.3 Geschiebehaushalt und Wasserspiegel Aare

Der Geschiebehaushalt der Aare wird durch grosse Hochwasserereignisse geprägt. Mit den für die Prognose gewählten Szenarien für Abfluss und Geschiebeeintrag reicht die Zufuhr aus dem Oberwasser nicht aus, um die vor 1985 durch Kiesentnahmen abgetiefte Sohle zwischen dem Wehr Engehalde und Reichenbach wieder aufzufüllen. Vielmehr muss auf diesem Abschnitt in Zukunft wieder mit einer Eintiefungstendenz gerechnet werden. Die Sohlenerosion dürfte wenige Dezimeter betragen.

<sup>1</sup> Jahre ohne Hochwasserereignis.

Wird mit grossen Hochwasserereignissen viel Geschiebe über das Wehr Engehalde transportiert, lagert sich dieses auf der Sohle zwischen der Felsenau (km 40.2) und der Stauwurzel des Wohlensees ab. Die Reichweite des Geschiebes und die Mächtigkeit der Ablagerung hängen von der Häufigkeit Geschiebe führender Hochwasser und vom Stauspiegel am Wehr Mühleberg ab. Unter heute gültigen Bedingungen ist im Laufe der nächsten 80 Jahre mit einer Sohlenhebung auf dem Abschnitt zwischen der Felsenau und der Halenbrücke von rund einem halben Meter zu rechnen. Die Ablagerungen im Stauwurzelbereich sind deutlich mächtiger.

Die Geschiebewardirtschaftung im Schwellenmätteli wirkt sich nur geringfügig auf die Ablagerungen in der Felsenau aus. Dies weil mit der Bewirtschaftung die Geschiebezufuhr zwar bei kleinen Hochwasserereignissen reduziert wird, bei grossen Hochwasserereignissen aber nur wenig beeinflusst wird. Bei intensiven Kiesentnahmen wird ein Geschiebedefizit durch Sohlenerosion auf dem Abschnitt unterhalb des Wehres Engehalde wieder ausgeglichen.

Die Auflandung bei der Stauwurzel und in der Felsenau hat Auswirkungen auf den Wasserspiegel. Die Prognoserechnung zeigt eine mögliche Tendenz auf: Nach 80 Jahren würde der Mittelwasserspiegel in der Felsenau um 40–60 cm höher liegen als heute, ein Hochwasserspiegel bei einem Abfluss von  $605 \text{ m}^3/\text{s}$  (entspricht dem Hochwasser 2005) um 50–75 cm. Das tatsächliche Ausmass hängt von vielen veränderlichen und heute nicht bekannten Einflussgrössen ab.

#### **4.4 Verlandung und Wasserspiegel Wohlensee**

Die Analyse der Verlandungsgeschichte hat gezeigt, dass die Zufuhr an Schwebstoffen nur bedingt an die Hochwasserhydrologie der Aare gekoppelt ist. Gleichzeitig lässt sich die Zufuhr von Feinsedimenten, anders als die von Geschiebe, nicht durch Bewirtschaftungsmassnahmen steuern. Für die Verlandungsprognosen wurde deshalb angenommen, dass in Zukunft gleichviel Feinsediment in den Stauraum eingetragen wird wie in der Vergangenheit.

In 80 Jahren wird sich die Verlandungsfront im Wohlensee um rund 2 km flussabwärts verlagert haben. Der Bereich mit abgeschlossener Verlandung wird etwa bis zur Jaggisbachau reichen. Das heisst, dass sich auf dem Abschnitt zwischen Äbische und Jaggisbachau der Wohlensee mit Feinsedimenten auffüllen wird und die Wassertiefen ähnlich gering sein werden wie heute auf dem Abschnitt unmittelbar unterhalb der Wohleibrücke. Es wird sich ein verzweigtes Gerinne mit einzelnen Teilgerinnen und seichten Zonen bilden, welche durch Vegetation zusätzlich verlanden können.

Auch in den Flussabschnitten, welche hier als 'Bereiche mit abgeschlossener Verlandung' bezeichnet werden, ist in Zukunft mit morphologischen Änderungen zu rechnen. Bei Hochwasser werden Sedimente umgelagert und teilweise flussabwärts verfrachtet. Erst wenn das Längenwachstum beendet ist und sich auf den Sandbänken eine geschlossene Vegetationsdecke gebildet hat, wird sich aus dem verzweigten Gerinne möglicherweise ein einzelnes mäandrierendes Gerinne entwickeln.

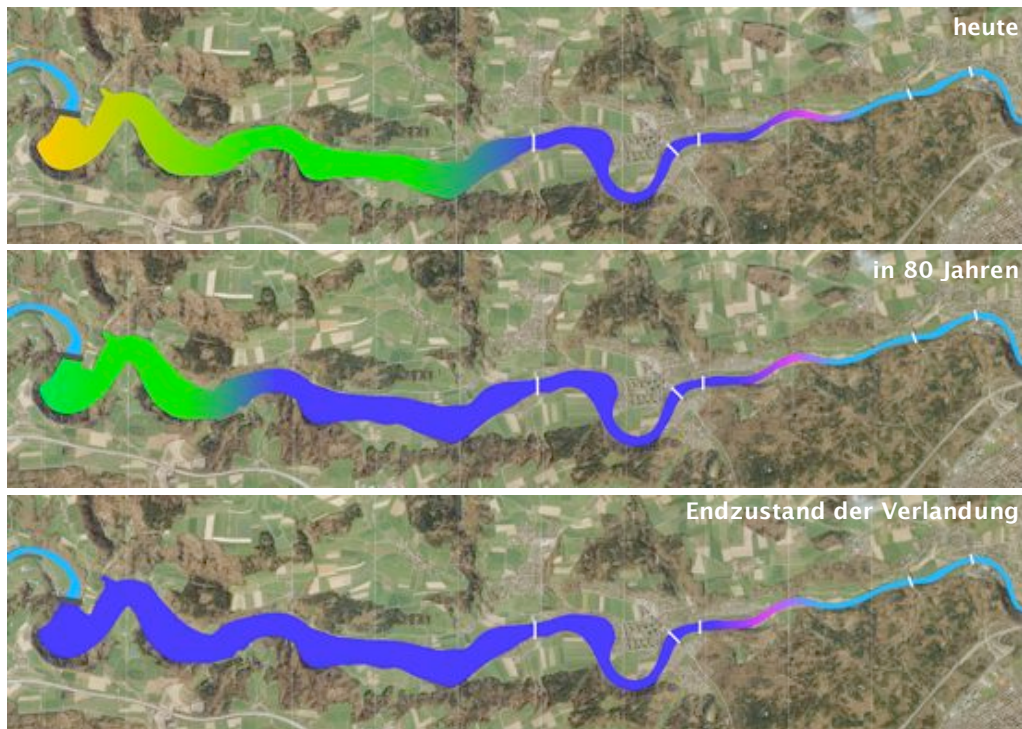


Abb. 6:  
Abschnitte unterschiedlicher Verlandung im Projektperimeter:  
Farbcode:  
– hellblau: Aare  
– violett: Stauwurzel  
– dunkelblau: Stauraum, Bereich mit abgeschlossener Verlandung  
– grün: Stauraum mit fortschreitender Verlandung  
– gelb: Stauraum mit beginnender Verlandung

Würde in Zukunft jedes Jahr gleich viel Sediment im See abgelagert wie bis anhin, wäre der Wohlensee in 140 Jahren vollständig verlandet. Je mehr sich die Verlandungsfront aber dem Wehr Mühleberg nähert, desto grösser ist der Anteil der Sedimente, welcher ohne sich abzulagern über das Wehr in den Unterlauf der Aare transportiert wird. Das heisst, dass es länger als 140 Jahren dauern wird, bis der See vollständig verlandet sein wird.

Ist der See vollständig verlandet, wird er zum langsam fliessenden Fluss. Bei Abflüssen unter  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  hat die Verlandung wenig Einfluss auf den Wasserspiegel. In den kommenden 80 Jahren ist ein Anstieg des Mittelwasserspiegels um nur wenige Zentimeter zu erwarten.

Bei Hochwasser spielen die Ablagerungen aber eine grössere Rolle. Würde sich in 80 Jahren ein Hochwasser mit einem Abfluss von  $605 \text{ m}^3/\text{s}$  ereignen (Hochwasser 2005), wäre der Wasserspiegel bei der Kappelenbrücke rund 30 cm höher als im August 2005. Bei Äbische wäre er gar 70 cm höher.

Die Verlandung des Wohlensees (Endsohlenlage und Zeitpunkt des Erreichens des Endzustandes) wird neben der Sedimentzufuhr auch vom Stauspiegel beeinflusst. Je tiefer der Stauspiegel liegt, desto kleiner ist das mit Feinsedimenten aufzufüllende Volumen. Bei einer Absenkung des Stauspiegels würden Sedimente im oberen Teil des Stauraumes erodiert und in tieferen Bereichen des Wohlensees wieder abgelagert.





## 5 Schlussfolgerungen

### 5.1 Raum- und Zeitskalen

In der vorliegenden Studie wurde die Verlandungsgeschichte des Wohlensees und der Aare zwischen dem Wehr Engenhalde und dem Wehr Mühleberg aufgearbeitet und eine Prognose für die zukünftige Entwicklung der Sohlenlage und der Wasserspiegel erarbeitet. Der Perimeter der Studie umfasste einen Gewässerabschnitt von 23 km Länge und es wurde eine Zeitspanne von 1923 bis zum Jahr 2090 betrachtet. Bei dieser Raum- und Zeitskala war es nicht möglich, jedes Detail der Veränderung, welches in den letzten Jahren im Wohlensee beobachtet worden ist, zu erfassen. Trotzdem decken sich die grossskaligen Resultate dieser Studie mit den kleinräumigen Beobachtungen von lokalen Gebietskennern.

### 5.2 Mögliche Beeinträchtigung von Nutzungen

Von der in den Kapiteln 4.3 und 4.4 beschriebenen Verlandung und ihren Auswirkungen auf den Wasserspiegel können verschiedene Nutzungen am Wohlensee betroffen sein:

- Höhere Wasserspiegel bei Hochwasser können die Hochwassersicherheit von Anstössern vermindern.
- Ein höherer Wasserspiegel bei Nieder- und Mittelwasser in der Aare kann die Leistung des KW Felsenau vermindern.
- Die wasserseitige Zufahrt zu Bootsplätzen oder Einsteigestellen für Ruderer kann wegen Sandablagerungen erschwert werden.
- Die Einleitung von Drainagen oder Regenüberläufen kann versanden oder durch einen hohen Wasserstand zurückgestaut werden.
- Uferwege können häufiger und stärker überflutet werden.

Die Liste ist nicht vollständig. Es war nicht Gegenstand dieser Studie, die möglichen Konsequenzen der Verlandung für die verschiedenen Nutzungen aufzuzeigen. Mit den vorliegenden Resultaten steht hingegen die Grundlage dazu zur Verfügung. Ausserdem wurde anhand von verschiedenen Szenarien der Prognose aufgezeigt, welche Wirkung mögliche Interventionsmassnahmen haben können.

### 5.3 Steuerung der Verlandung

Für die Ablagerungs- und Erosionsprozesse entlang einer Fliegsstrecke gilt, dass die Mächtigkeit der Ablagerung von der Menge und Kornzusammensetzung der Sedimentzufuhr aus dem Oberwasser und von den hydraulischen Bedingungen im Fliegsquerschnitt abhängen. Die hydraulischen Bedingungen und die Zufuhr von Geschiebe lassen sich in gewissem Masse durch Eingriffe steuern, die Zufuhr von Feinsedimenten oder die Korngrössen des Geschiebes hingegen nicht.

Mit einer Geschiebebewirtschaftung im Schwellenmätteli lassen sich die Geschiebeablagerungen an der Stauwurzel kaum beeinflussen.

Weitere Massnahmen zur Beeinflussung der Verlandung sind denkbar, wurden aber im Rahmen dieser Studie nicht näher untersucht. Dazu zählen zum Beispiel:

- Die Absenkung des Staupegels für die Dauer von Hochwasserabflüssen,
- Kiesentnahmen bei der Stauwurzel,
- die gezielte Förderung von Ablagerungen im Stausee durch strömungsberuhigende Massnahmen.

#### **5.4 Schlussbemerkung**

Mit dem Bau des Stauwehres Mühleberg 1920 wurde der Wohlensee aufgestaut und die Sedimentkontinuität in der Aare unterbrochen. Die Verlandung der Stauhaltung ist deshalb ein unvermeidbarer Prozess. Sie schafft aber auch Mehrwerte für die Natur und den Menschen in Form von Lebens- und Erholungsräumen.

Der Rückbau des Wehres und die Wiederherstellung der Sedimentkontinuität scheinen aus heutiger Optik keine anzustrebende Option. Aus diesem Grund müssen sich Entwicklungsplanungen rund um den Wohlensee auf die unvermeidbaren Verlandungsprozesse ausrichten. Die vorliegende Studie bietet dazu eine naturwissenschaftliche Grundlage. Die Resultate der Studie erweitern und präzisieren zudem die Erkenntnisse, welche aus früheren Untersuchungen zum Geschiebehaushalt der Aare gewonnen wurden. Das geeichte numerische Sedimenttransportmodell steht für die Beantwortung weiterer Fragestellungen im Zusammenhang mit der Verlandung des Wohlensees oder im Zusammenhang mit dem Geschiebetransport in der Aare zur Verfügung.

Sachbearbeitung  
Projektleitung:

Sandra Krähenbühl, Dipl. Umwelt-Ing. EPFL  
Dr. Lukas Hunzinger, Dipl. Kulturing. ETH

Bern, den 21.03.2011

Flussbau AG SAH

Dr. L. Hunzinger

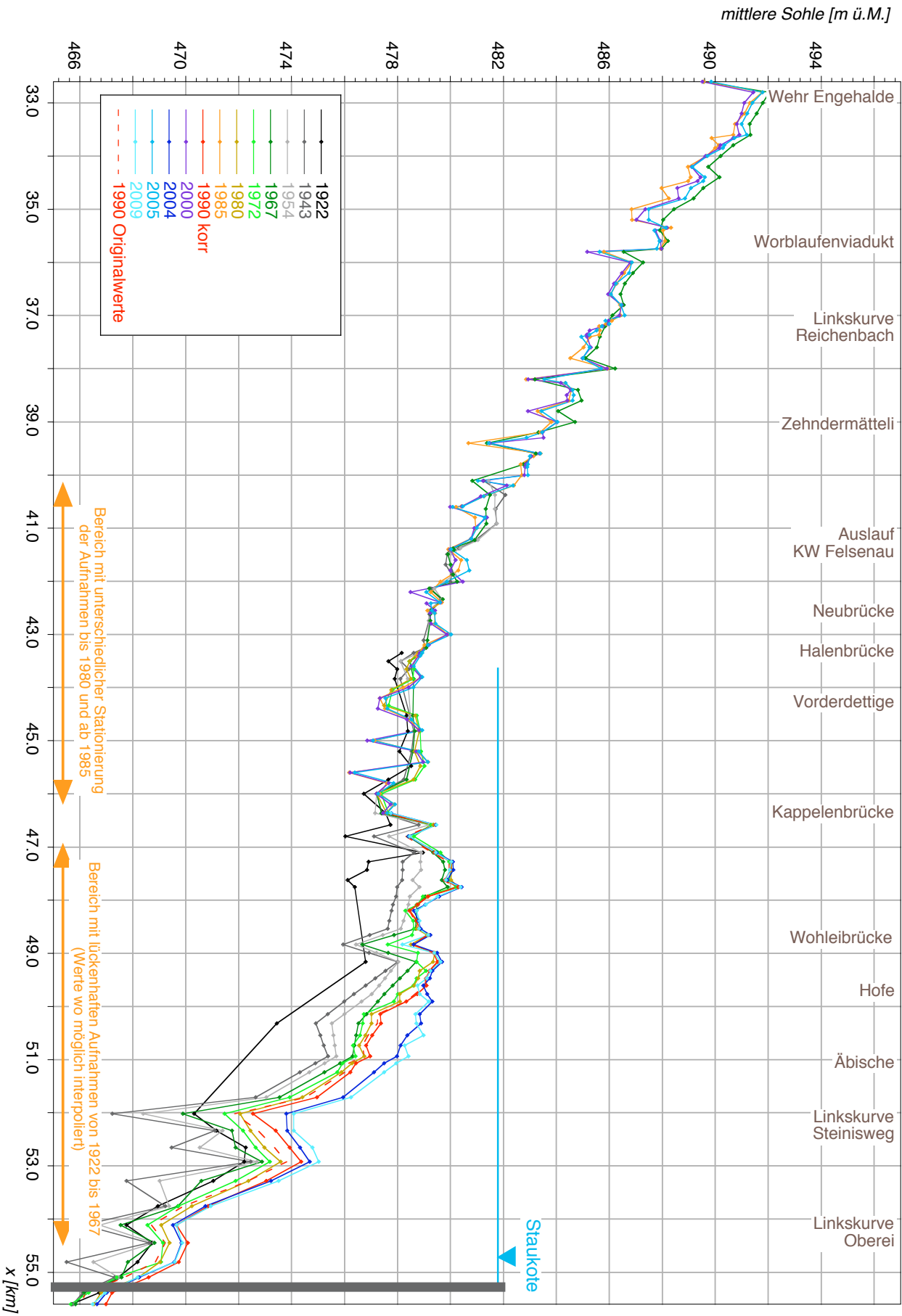


---

## **Anhang A    Entwicklung im Längenprofil**

- Entwicklung der mittleren Sohle vom Wehr Engehalde bis zum Wehr Mühleberg

# Entwicklung der mittleren Sohle im Stauraum



---

## **Anhang B    Resultate Extrapolation Referenzszenario**

- Entwicklung der Sohlen- und Wasserspiegellagen im Längenprofil bei 150 m<sup>3</sup>/s  
(Restwasserstrecke 50 m<sup>3</sup>/s)  
*nach 20, 40 und 80 Jahren*

Extrapolation Referenzszenario Längenprofil Sohle und Wasserspiegel 150 m³/s (Restwasserstrecke 50 m³/s)

