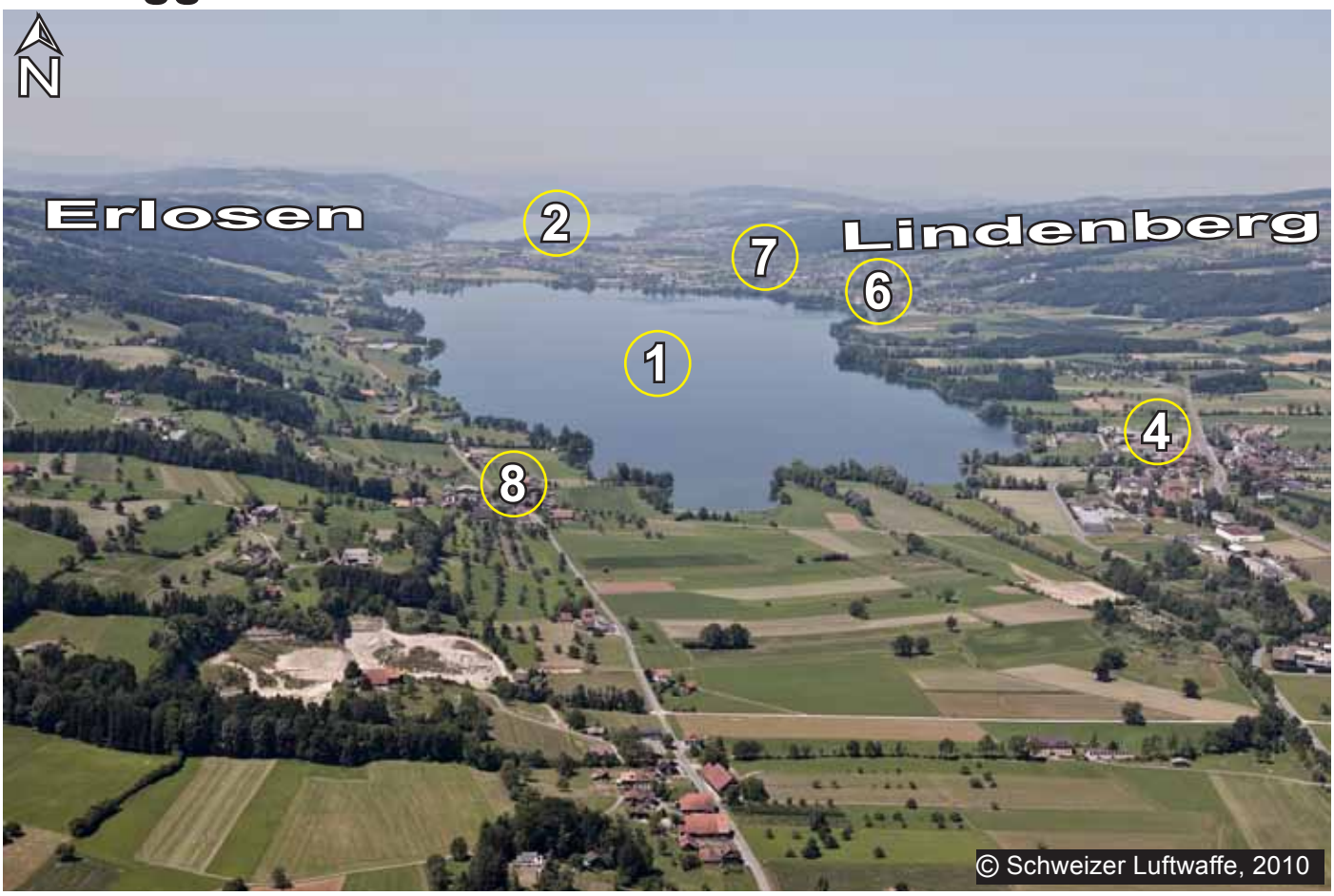
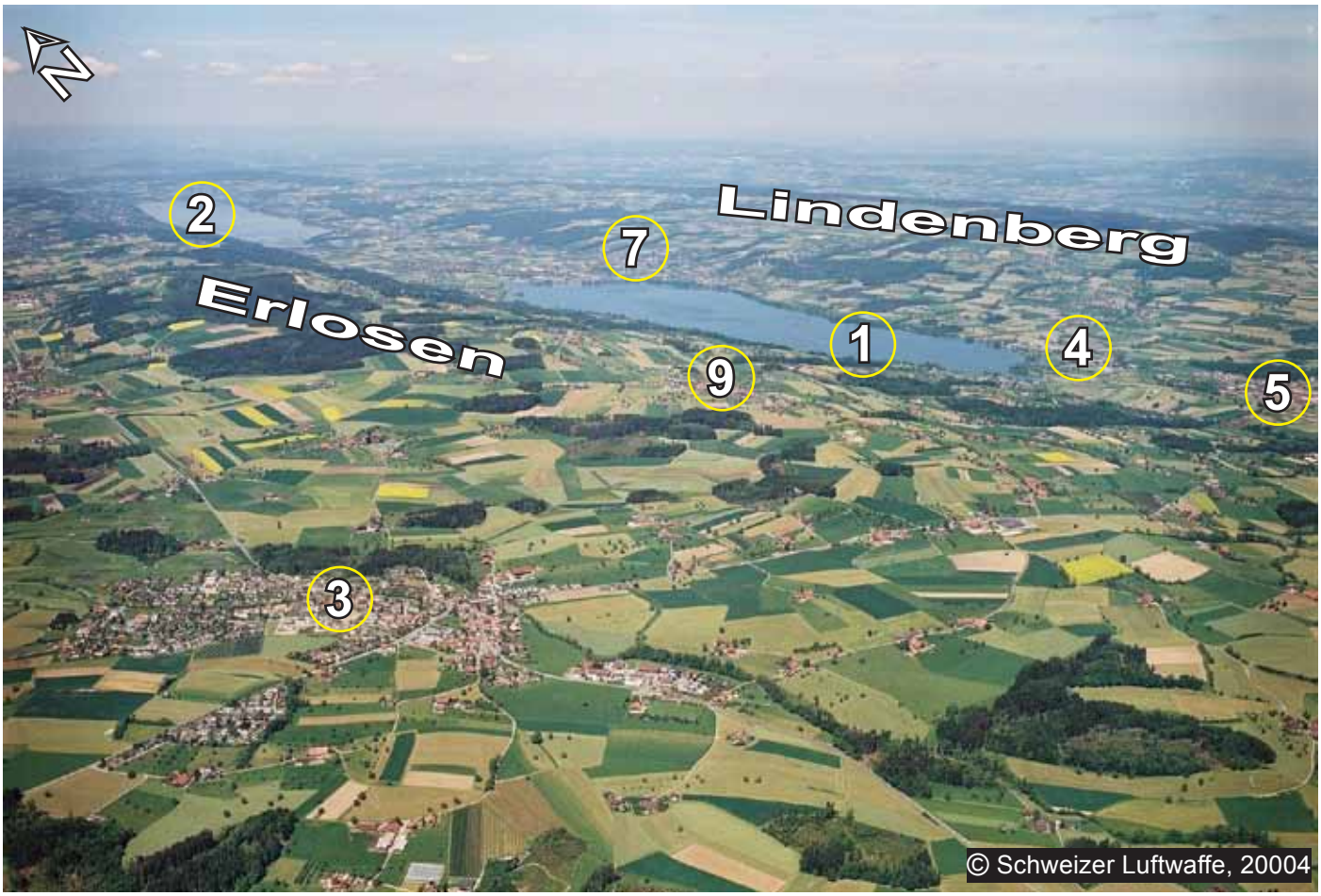
Baldeggersee im Luzerner Seetal

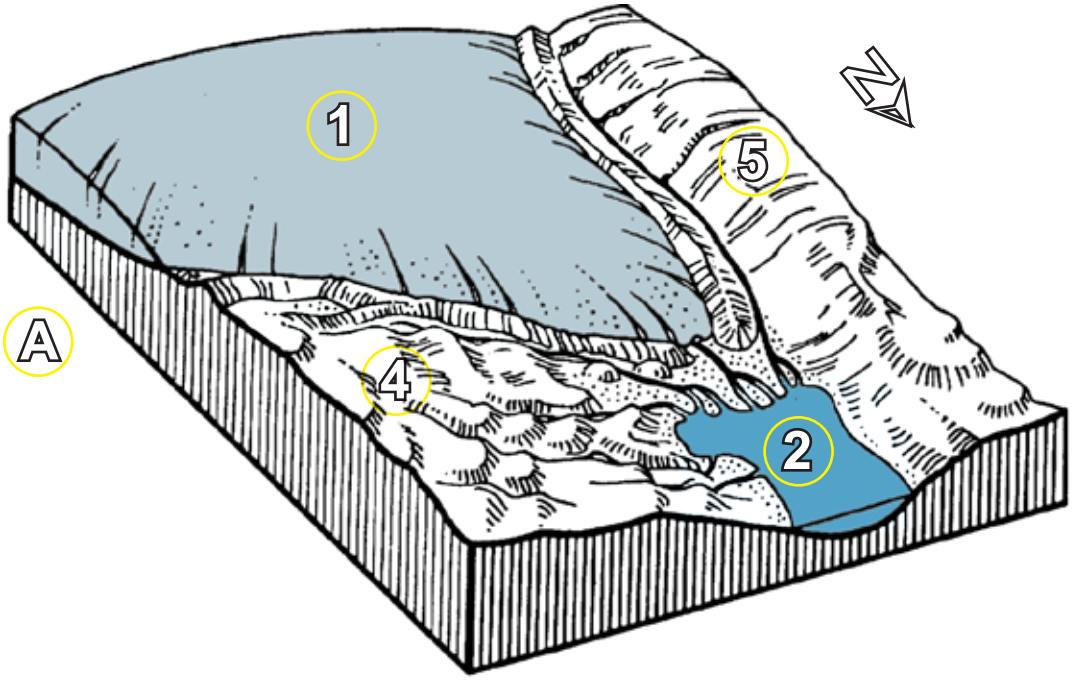


1 Baldeggersee	2 Hallwilersee	3 Hildisrieden
4 Baldegg	5 Hochdorf	6 Gelfingen
7 Hitzkirch	8 Nunwil	9 Römerswil

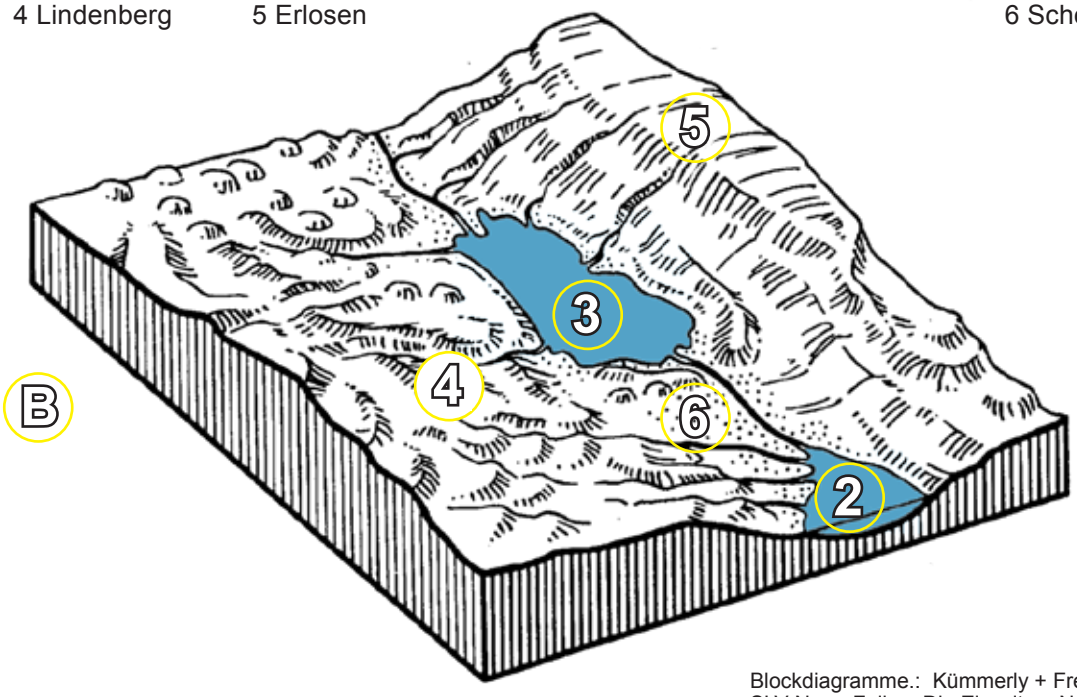


Glazialmorphologische Situation

Ein Arm des Reussgletschers formte während der letzten (Würm-) Vereisung das Luzerner Seetal und hinterliess hier zwei Zungenbecken-Seen, den Hallwiler - und Baldegger - See.
Das Blockdiagramm A zeigt einen Arm des Reussgletschers während eines der letzten Rückzugsstadien. Deutlich erkennbar sind die Ufermoränen, sowie das dem Gletscher vorgelagerte Schotterfeld, in welchem bereits der künftige Hallwilersee die Entwässerung der Gletscherzunge aufnimmt. Am Lindenberg sind verschiedene Moränenstände sichtbar.
Blockdiagramm B zeigt den zurückbleibenden Baldeggersee, wie er vom Schmelzwasser randlich bereits zugeschüttet wird. Schön ausgeprägt sind auch die Überreste der Ufermoränen. Die fluviative Erosion des Hügelzuges «Erlosen» hat eingesetzt. Südlich des Baldeggersees sind einige Drumlins erkennbar.
An den Abhängen des Erlosen und des Lindenbergs sind als terrassenförmige Geländekanten die Ablagerungen verschiedener Eisstände ausgebildet. Lindenberg und Erlosen sind im Kern Molassehügel, die mit Quartär bedeckt sind.



1 Gletscher 2 Hallwilersee 3 Baldeggersee
4 Lindenberg 5 Erlosen 6 Schotterfeld



Blockdiagramme.: Kümmerly + Frey Lehrmittel, Bern, 1978; SLV-Norm Folien, Die Eiszeiten, No. 41.000400

© PHBern © Schweizer Luftwaffe

Stadien des Reussgletschers während der Würmeiszeit und im Spätglazial

Chronologie der Gletscherstadien des Reussgletschers

Zeitraum	Kalenderjahre vor heute	Stadien des Reussgletschers	Stadien des Linth-/Rheingletschers und der östlichen Alpen
Spätglazial	16000	Attinghausen	Gschnitz/Zernez
	16500	Gersau Ibach–Ingenbohl	Domat-Ems
	17000	Vitznau Goldau	Sargans
	17300	Chrüztrichter	Schänis/Koblach
Würmeiszeit	18000	Gisikon–Honau Steinhausen, Hünenberg, Rotkreuz	Hurden/Konstanz
	19500	Bremgarten Hitzkirch, Sursee, Ruswil	Zürich/Stein am Rhein
	21500	Stetten Seengen, Triengen, Buchs, Mauensee, Grosswangen–Wolhusen	Schlieren/Feuerthalen
	24000	Mellingen Seon, Gontenschwil Staffelbach, Schötz, Werthenstein–Wolhusen	Killwangen/Schaffhausen

Legende

- Moränenwall
- Drumlin
- Grabung mit Altersbestimmung
- Mammut-Fundstelle
- Höhlenbär-Fundstelle mit Altersbestimmung

9880 ±150 = Altersangabe in Kalenderjahren vor heute (BP before present; present =1950)

Massstab 1:200000

0 2 4 6 8 10 km

© PHBern © Schweizer Luftwaffe

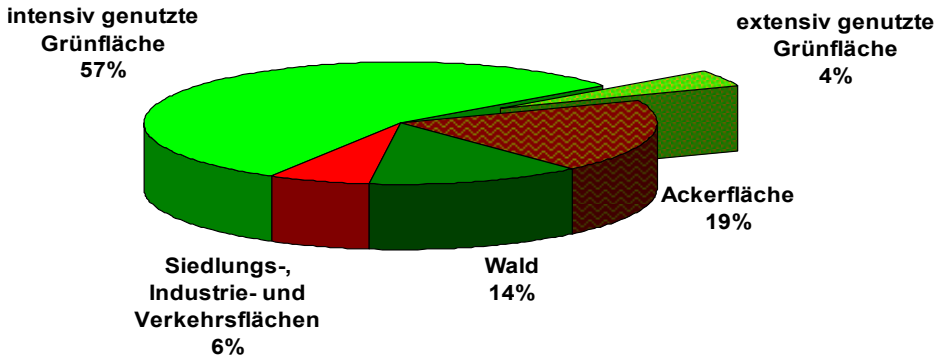
Die Phosphatbelastung des Baldeggersees

(▶ die folgenden Ausführungen mit Grafiken sind einer Publikation des Kantons Luzern «Umwelt und Energie» entnommen)

Der Baldeggersee wird seit 1982 mit Hilfe von See-externen und See-internen Massnahmen saniert, und seit Mai 1985 werden die Zuflüsse des Baldeggersees im Rahmen des Monitorings von der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe, früher Amt für Umweltschutz) in Zusammenarbeit mit dem Gemeindeverband Baldegger- und Hallwilersee untersucht. Die Zuflussuntersuchungen dienen als Erfolgskontrolle der externen Sanierungsmassnahmen und sollen vor allem Aufschluss über die Phosphor- und Stickstoffzufuhren zum Baldeggersee geben.

Der Gesamt-Phosphorgehalt im Baldeggersee soll 30 mg/m3 deutlich unterschreiten und der Sauerstoffgehalt soll zu jeder Zeit und in jeder Seetiefe mindestens 4 mg/Liter betragen. Dieses Ziel steht für den Baldeggersee an oberster Stelle, denn dieser Zustand bedeutet einen gesunden See, in welchem standortgerechte Pflanzen und Tiere jederzeit ohne künstliche Massnahmen gedeihen können.

Flächennutzung im Einzugsgebiet Baldeggersee

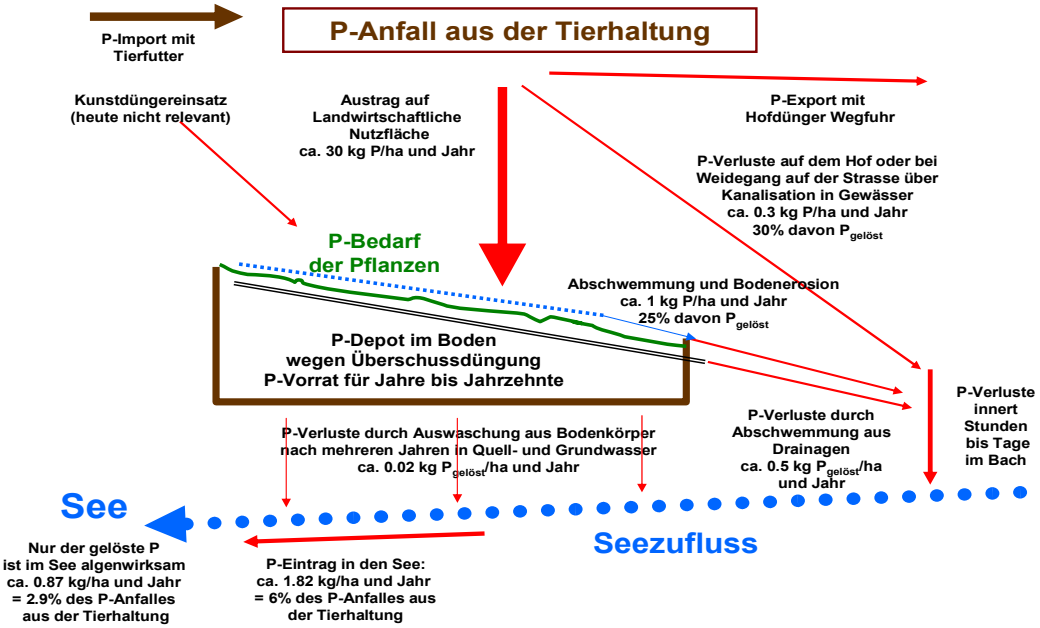


Das Einzugsgebiet des Baldeggersees umfasst eine Gesamtfläche von 73 km², davon nimmt die Seeoberfläche 5.2 km² ein. Bezogen auf die Seeoberfläche und auch im Vergleich mit dem dreimal grösseren Sempachersee (mit nur 61 km² Einzugsgebiet) hat der Baldeggersee (0.173 km³ Inhalt; 33 m mittlere Tiefe) ein grosses Einzugsgebiet. Der mit 862 m über Meer höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf dem Lindenberg. Bei einem mittleren Seeabfluss von 1.3 m³/s beträgt die mittlere Wasseraufenthaltszeit im Baldeggersee 4.2 Jahre.

Die Flächennutzung des Einzugsgebietes wird dominiert durch intensiv genutztes Wiesland mit einem Anteil von 57%. Der Anteil an extensiv genutztem Wiesland ist mit 4% noch deutlich unter der Zielsetzung des P-Projektes (Projekt zur Reduzierung des Phosphateintrages). Der Anteil der Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsfläche hat innert 10 Jahren auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche von 4% auf 6% zugenommen.

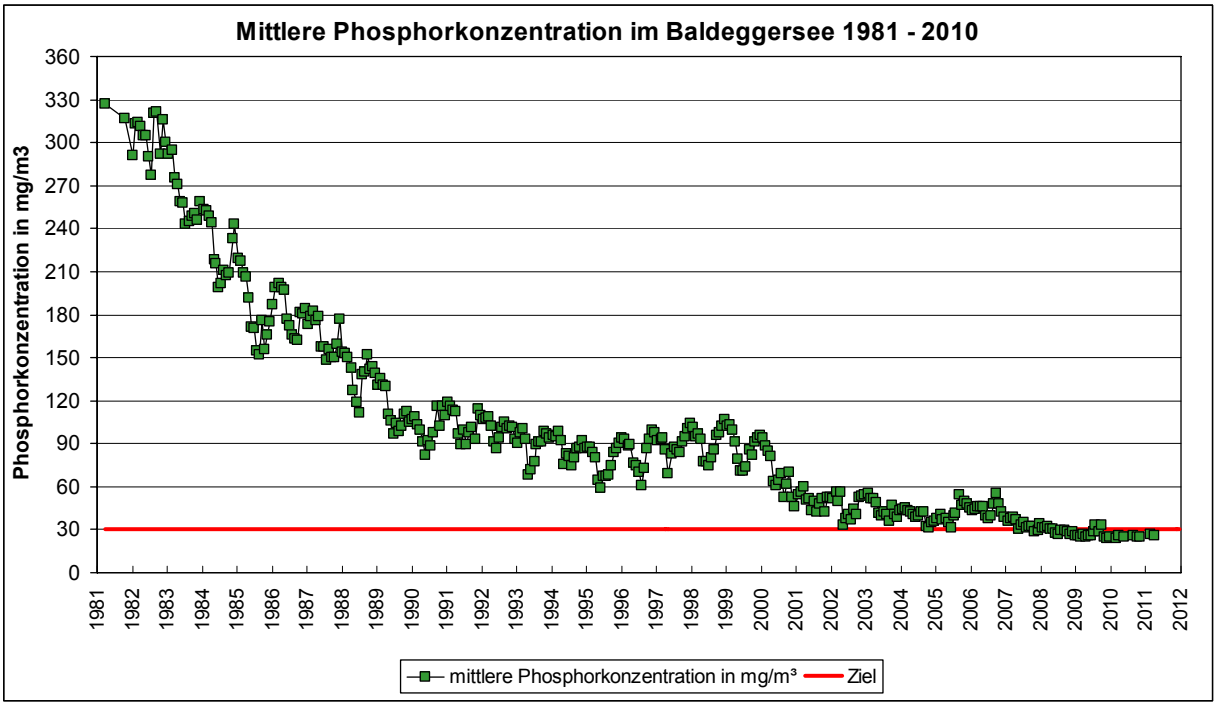
Auf der folgenden Seite ist die Wasserqualität des Baldeggersees bezüglich Phosphorkonzentration und Sauerstoffgehalt graphisch erfasst. Eine Abnahme der Konzentration ist deutlich erkennbar.

P-Verluste aus der Tierhaltung in den Baldeggersee

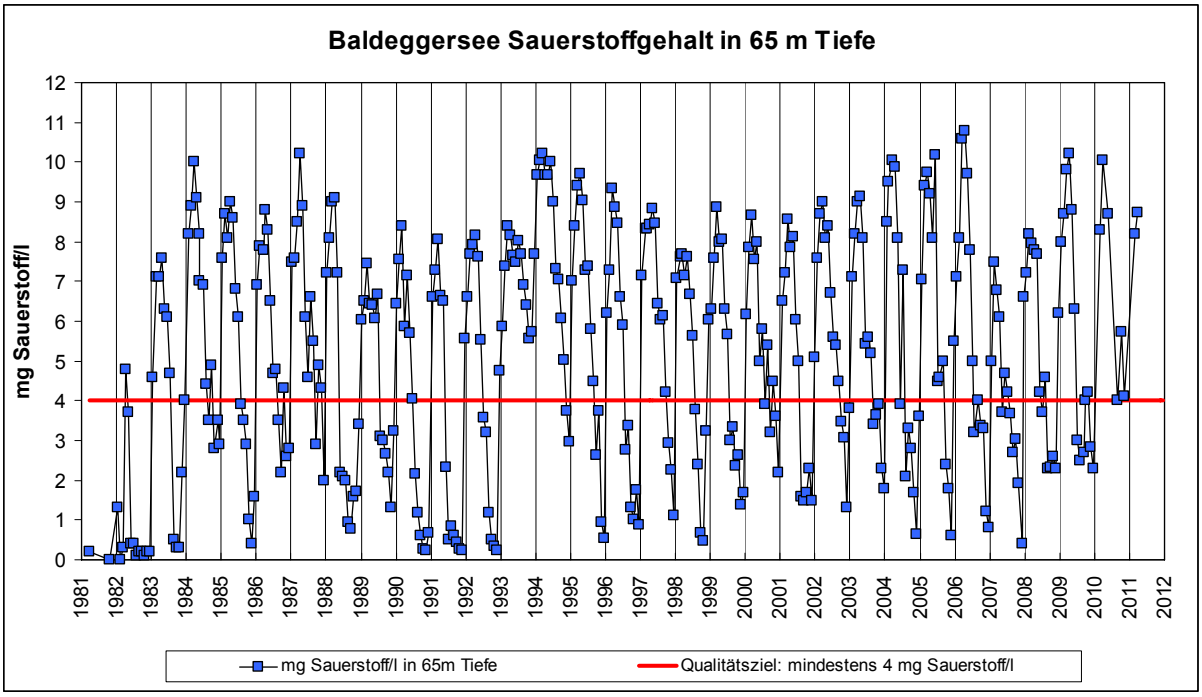


KANTON LUZERN
Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement

Wasserqualität Baldeggersee



Entwicklung der Konzentration an Gesamt-Phosphor im Baldeggersee von 1980 bis 2010 (mittlere Konzentration über alle Tiefenstufen, 2 bis 13 Proben pro Jahr)

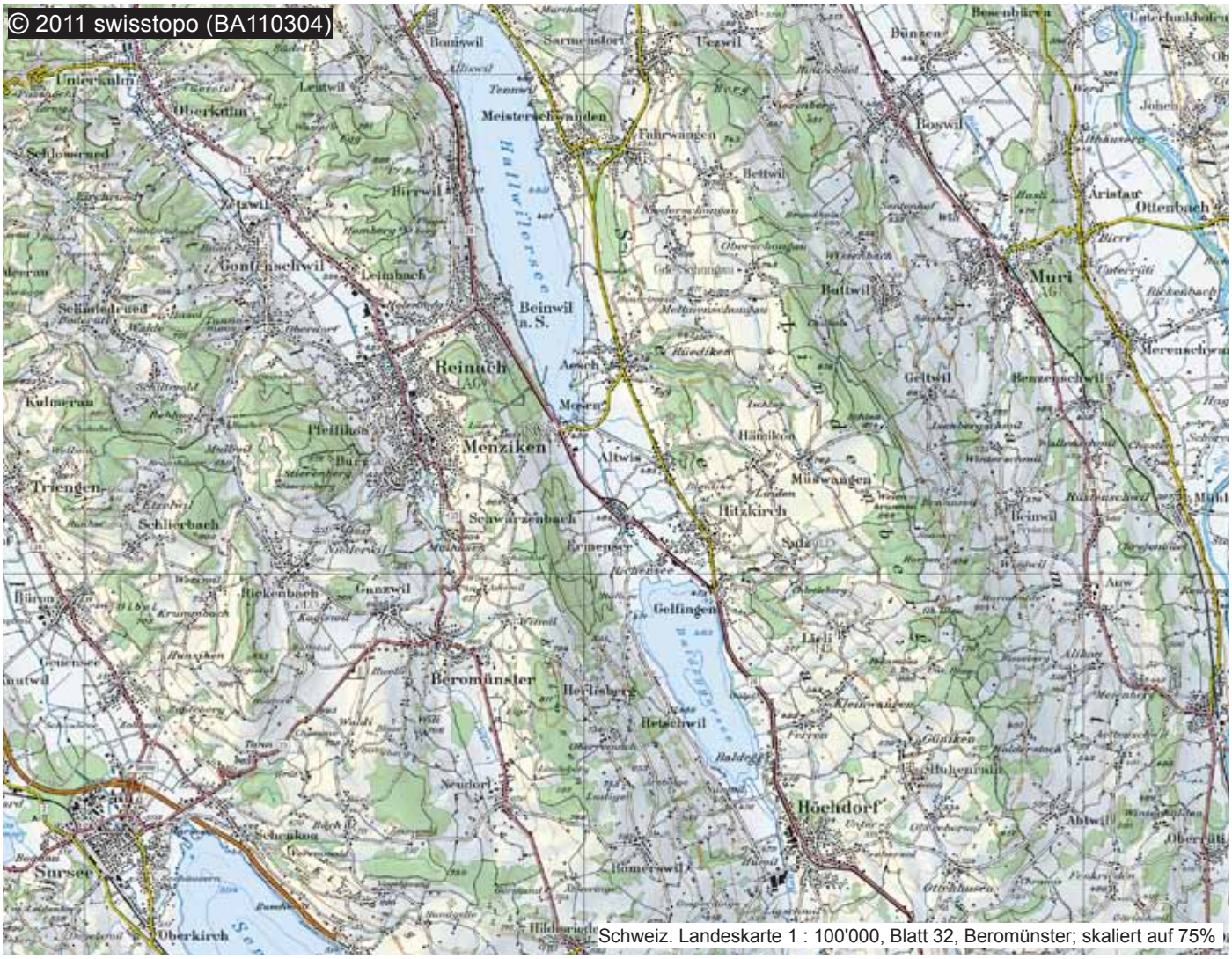


Sauerstoffgehalt im Baldeggersee am Seegrund in 65 m Tiefe (2 bis 13 Proben pro Jahr)

Stand: 15.4.2011

Umwelt und Energie | uwe.lu.ch

© PHBern © Schweizer Luftwaffe



Künstliche Belüftung des Sees infolge von Phosphaten in Gewässern

Der Baldeggersee musste in den 1980-er - Jahren künstlich belüftet werden. Im Einflussbereich der Belüftung bringen die gewünschten Turbulenzen die Tiefengewässer an die Oberfläche.

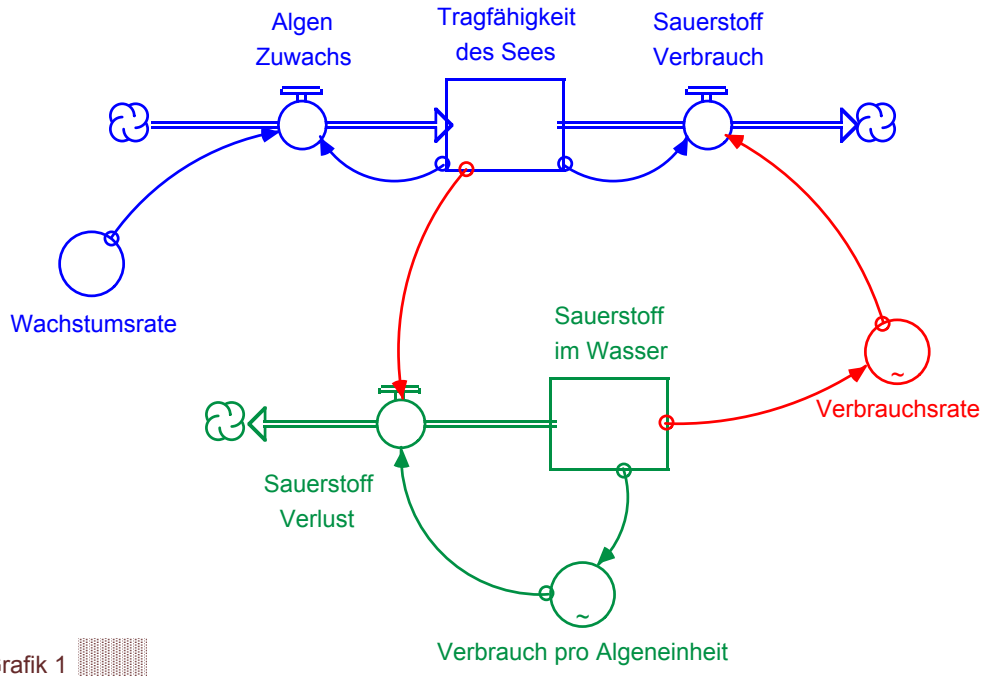
Der Eintrag von Phosphaten in die stehenden Gewässer infolge Überdüngung von Wiesen und Feldern (Güllenüberschuss durch Viehzucht, v.a. Schweinemast) führt zu Eutrophierung des Gewässers. Infolgedessen entsteht eine Algenüberproduktion. Im Herbst und Frühlung sedimentiert die überproduzierte Biomasse am Seegrund. Der Abbau führt zu Sauerstoffmangel. Unter den entstehenden anaeroben Bedingungen können die rückgewonnenen Nährstoffe mit den Spurenelementen und Schwermetallen (hier Phosphate und Eisen) keine unlösliche Verbindung mehr eingehen. Statt einer unter natürlichen, d.h. aeroben Bedingungen entstehenden Phosphatfalle werden grosse Phosphatmengen freigesetzt. Somit beginnt die Selbstdüngung des Sees, was weiteres Algenwachstum beschleunigt. Dadurch nimmt die abzubauende Biomasse exponentiell zu, was infolge Sauerstoffmangels zum Zusammenbruch des Systems See führt. Sauerstoffarme bis sauerstofflose,sogenannte tote Zonen, in den Tiefen des Gewässers werden mit Einsetzen der natürlichen Seezirkulation im Sommer an die Oberfläche gefördert, wodurch die letzten zur Verfügung stehenden Sauerstoffkonzentrationen des Oberflächenwassers fast schlagartig aufgebraucht werden.

Mit künstlicher Belüftung werden einerseits Sauerstoff in die Tiefengewässer gebracht, mit Pressluft andererseits die Seezirkulation gefördert, damit sauerstoffreiches Oberflächenwasser gezielt in die Tiefengewässer eindringen kann.

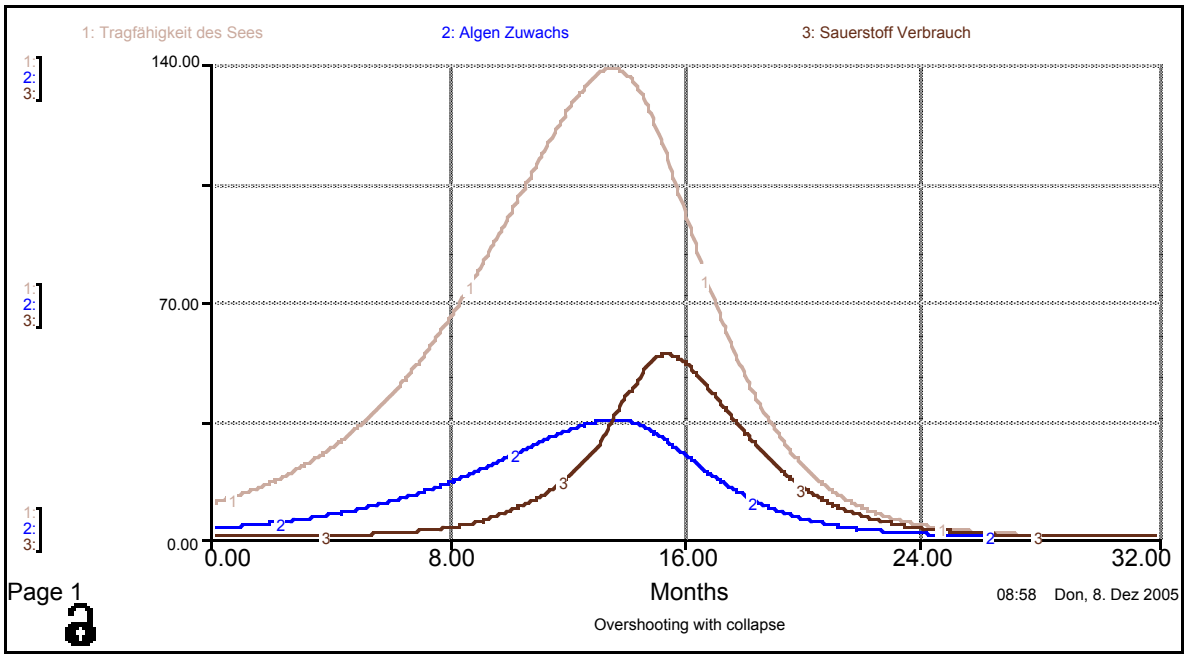
Mit der Simulationssoftware Stella oder Vensim können die Vorgänge bei Grenzüberziehung mit anschliessendem Zusammenbruch gut dargestellt werden. Das untenstehende Modell zeigt, wie die Tragfähigkeit eines Stehgewässers (z.B. der Baldeggersee) wegen erhöhten Sauerstoffverbrauchs infolge exzessiven Algenwachstumgs (Phosphat-Düngung) zusammenbricht («Overshooting with collaps»).

Grenzüberziehung mit Zusammenbruch
Exponentiell wachsende Wachstumsgrösse
Overshoot with collapse

Beispiel:
wachsender Schadstoffeintrag in die Gewässer (Ammonium haltige Jauche) mit wachsender Algenpopulation. Sauerstofferosion mit Zusammenbruch des Ökosystems.



Grafik 1



Seebelüftungen sind eine langwierige Angelegenheit. Ohne flankierende Massnahmen, wie drastische Reduktion der Phosphateinträge z.B., lässt sich keine nachhaltige Ökologie mehr erreichen.
Das folgende Schema «Rolle der Phosphate im Nährstoff-Kreislauf» zeigt die vielfältigen Auswirkungen von Schad- und Nährstoffen auf die Pflanzliche Umwelt.

Die Rolle der Phosphate im Nährstoff - Kreislauf

Häusliche Abwässer
Phosphate als Wasser-Enthärter in Waschmitteln

Gewerbe - und Industrie-abwässer:
SCHWERMETALLE

Landwirtschaft
- ammoniumreiche Jauche wird zu Nitraten oder unvollständig zu Nitriten
- Phophatdünger

Verkehrsimmissionen
Salz - und Schwefelsäure

Niederschläge
Säure - Regen

Schad - Stoffe

lebensnotwendige Stoffe im Überfluss (Nährstoffe, Vitamine, Schwermetalle)

Physikalisch wirksame Stoffe
(Filme, Staub usw.)

Gifte
- natürliche
- synthetische

refraktäre Stoffe (sehr langsam abbaubar wie chlorierte Kohlenwasserstoffe)

noch neutrale Stoffe, die im Laufe der Zeit wirksam werden: Abfallbeseitigung

organische Verbindungen (Verbindungen mit Kohlenstoff)

anorganische Verbindungen (Verbindungen i.d.R. ohne Kohlenstoff)

Nähr - Stoffe

Hauptnährstoffe zur Herstellung von Bau- und Betriebsstoffen

Schwermetalle als Spurenelemente zur Steuerung der Stoffwechselvorgänge

C H O N S P [1]

lebensnotwendige
Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Vanadium, Zink, Eisen

nicht lebensnotwendige
Cadmium
Blei
Quecksilber

Pflanzliche Umwelt

terrestrisch (auf dem Lande)

Ernte der landwirtschaftlichen Produktion (fast keine Nährstoffe bleiben zurück)

Nährstoffdünger (Stickstoff / Phosphor) gelangen ins Wasser als:

Nitrate

Phosphate

aquatisch (im Wasser) unter Normalbedingungen

Produktion der BIO - Masse (v.a. Algen), durch den knappsten Nährstoff, PHOSPHOR, in Schranken gehalten

Abbau der BIO - Masse mittels SAUERSTOFF (aerobe Bedingungen)

Eutrophierung (Überdüngung des Gewässers)

Algen-Überproduktion, weil mehr Phosphate vorhanden

Im Herbst und Frühling Sedimentation und Abbau der überproduzierten BIO - Masse. Daher eintretender Sauerstoff - MANGEL. (anaerobe Bedingungen)

Nährstoffe *

Spurenelemente Schwermetalle

Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+}

Freisetzung grosser Phosphatmengen PO_4^{3-}

Rückgewinnung von Phosphaten PO_4^{3-}

Oxydation von z.B. Fe zu Fe^{3+}

Unlösliche Verbindung Fe^{3+} PO_4^{3-} (PHOSPHAT - FALLE)

Gut lösliche Verbindung Fe^{2+} PO_4^{3-} (Selbstdüngung beginnt)

* Abbau organischer Substanz am Seeboden:

aerob		anaerob
CO_2 ←	C	→ CH_4 (Methan)
H_2O ←	H	→ CH_4 (Methan)
-	O	-
NO_3 (Nitrate) ←	N	NO_2^- (°) → NH_3 (°) (Nitrite) (Ammoniak)
SO_4^{2-} ←	S	H_2S (°) → S (Schwefelwasserst.)
PO_4^{3-} (Phosphat) ←	P	vrgl. Wechselwirkung mit Schwermetallen

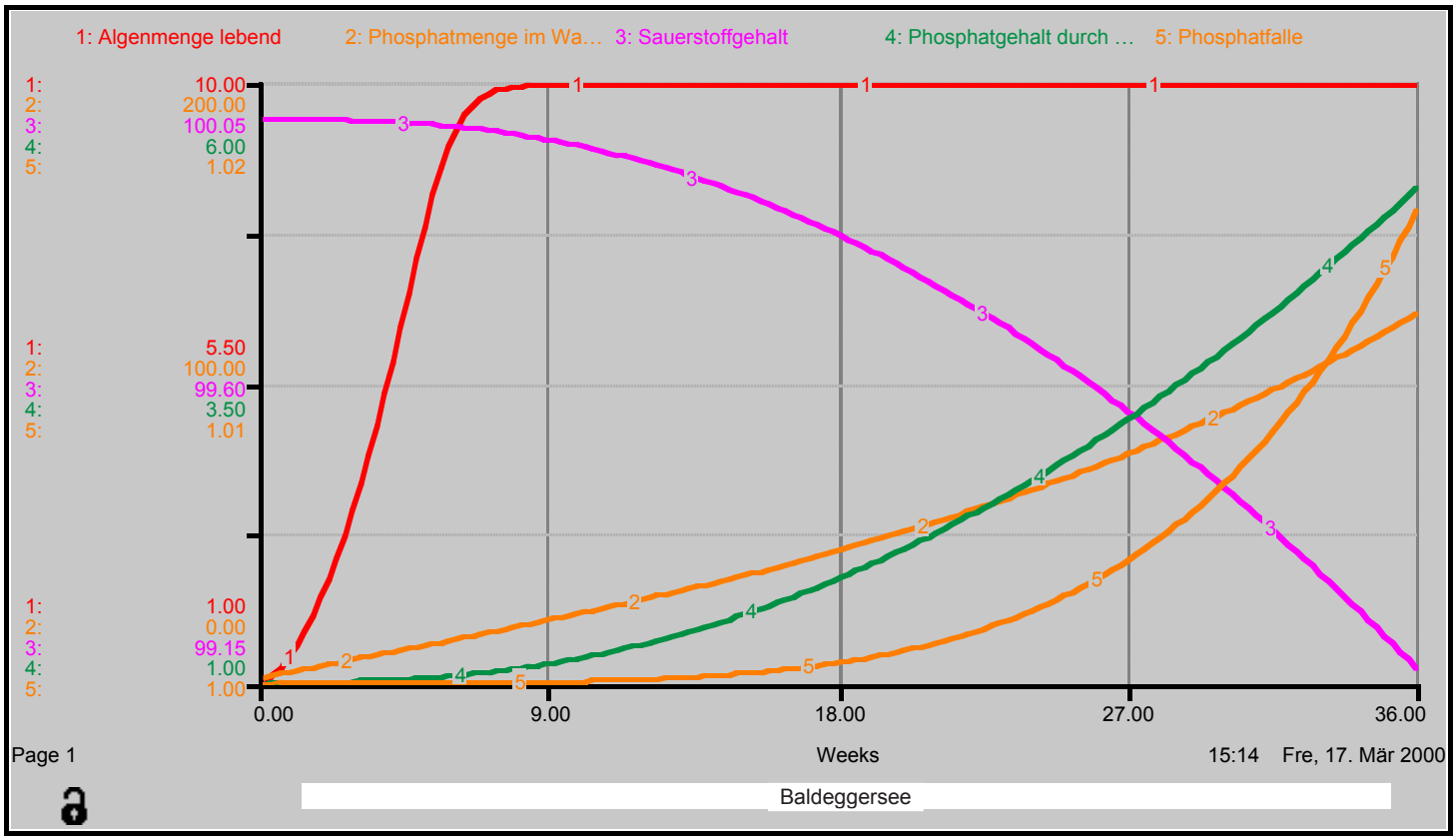
(°) : giftige Abbauprodukte

[1] C: Kohlenstoff / H: Wasserstoff / O: Sauerstoff / N: Stickstoff / S: Schwefel / P:Phosphor

Text, Graphik, Konzept: HP. Jud, KS SH, 12.85

© PHBern © Schweizer Luftwaffe

Graph mit Stella - Simulationssoftware zur Eutrophierung eines Binnensees



Systemzusammenhänge im Modell:

Mit der Simulationssoftware «Stella» lässt sich die Eutrophierung eines Binnensees darstellen:

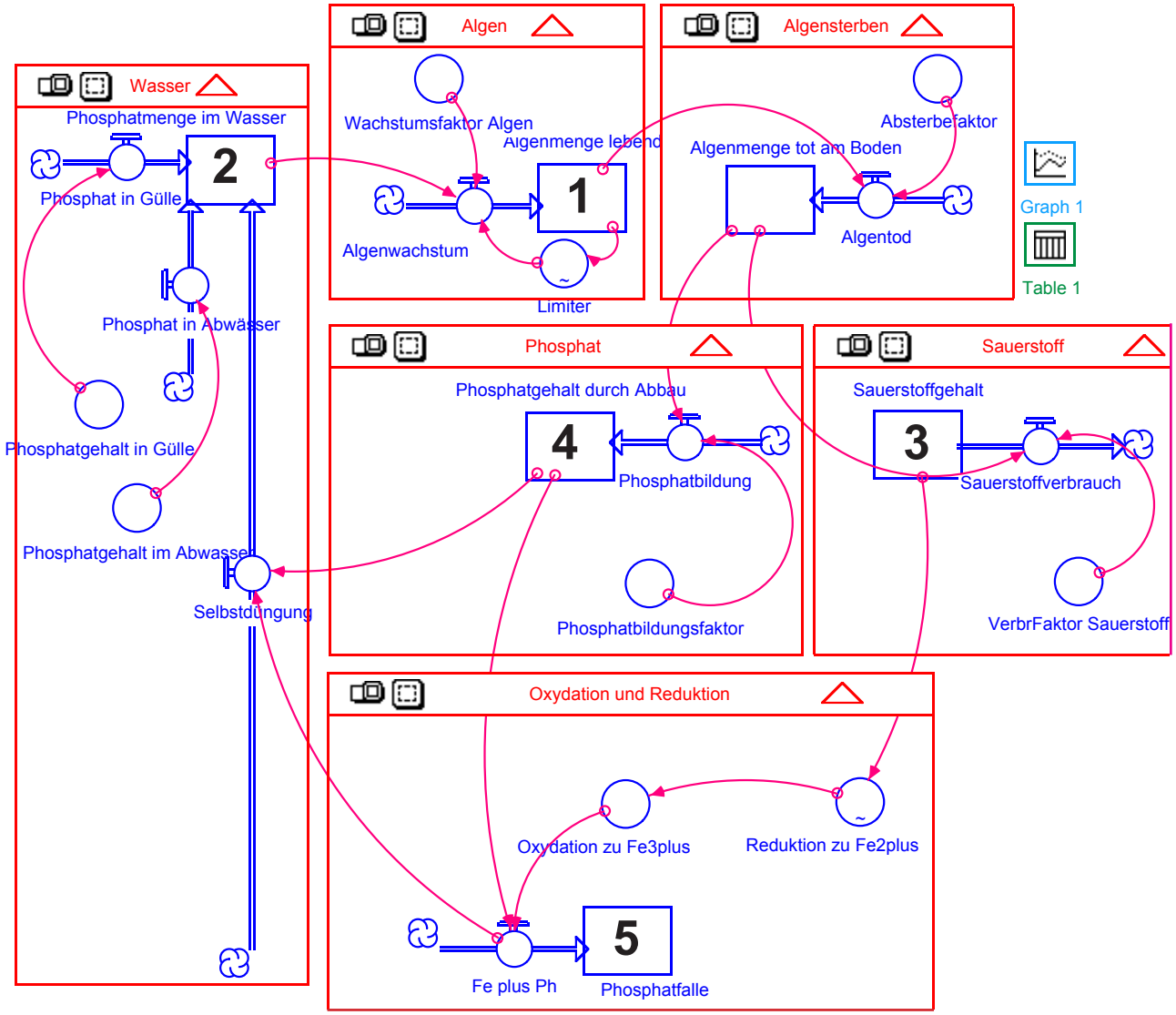
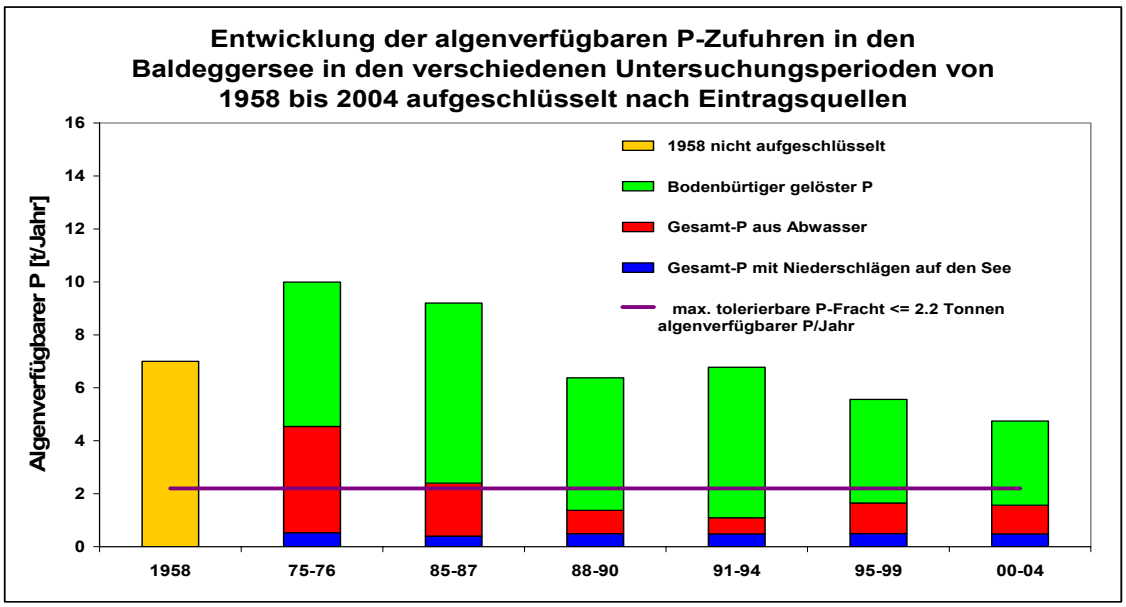
Die rote Kurve (1) stellt die exponentielle Zunahme der Algenmenge dar, zu deren Abbau Sauerstoff notwendig ist. Die violette Kurve (3) zeigt die dadurch eintretende Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Wasser. Die Phosphatbildung durch Abbau der Biomasse wird in der grünen Kurve (4) dargestellt. Somit steigt die Phosphatmenge im Wasser (Kurve 2). Durch Oxydation entsteht die (unlösliche) Phosphatfalle (Kurve 5). Wird der Sauerstoff aufgebraucht, kann die entstehende Phosphatmenge durch Biomassenabbau nicht mehr in einer Phosphatfalle gebunden werden. Somit beginnt durch weiteren Eintrag von Phosphaten die Selbstdüngung (Eutrophierung) des Sees, was wiederum zu mehr Algenwachstum führt. Im Endeffekt kollabiert der See.

Um den Sachverhalt im Simulationsmodell zu konstruieren, werden verschiedene Teilsysteme gebaut (siehe nächste Seite: 6 Teilsysteme).

Im Teilsystem ‹Algen› (1) wird durch den Phosphateintrag aus Teilsystem ‹Wasser› (2) das Algenwachstum gefördert. Das natürliche Absterben der Algen (Teilsystem ‹Algensterben›) verbraucht zu deren Abbau Sauerstoff (Teilsystem ‹Sauerstoff› 3) und setzt Phosphate frei (Teilsystem ‹Phosphat› 4). Die Oxydation von Eisen verbraucht Sauerstoff. So entsteht die Phosphatfalle, was in Teilsystem ‹Oxydation und Reduktion› (5) dargestellt wird. Wegen Sauerstoffmangels reduziert das Eisen zu Fe_2 plus und verhindert so die Entstehung einer Phosphatfalle, was Phosphate frei setzt und damit die Selbstdüngung des Sees einleitet (Teilsystem ‹Wasser› 2). Zusätzliche Phosphate werden durch Gülle und Abwässer in den See geleitet, was wiederum das Algenwachstum fördert (Übergang von Teilsystem 2 zu Teilsystem 1).

Zusammengefasst zeigen die verschiedenen Teilsysteme also das Überschiessen des Systems «See» mit Zusammenbruch («overshoot with collaps»).

(Systemarchitektur: HP. Jud)



Die untenstehende Abbildung zeigt die algenverfügbaren P-Zufuhren zum Baldeggersee für die Jahre 1958 bis 2004, zusammengefasst als Mittelwerte von 2- bis 5-jährigen Untersuchungsperioden. Seit der Periode 75-76 nehmen die Zufuhren deutlich ab, der Zielwert von weniger als 2.2 Tonnen algenverfügbarer P-Zufuhr pro Jahr wird bei weitem nicht erreicht. Weitere Massnahmen in der Landwirtschaft, aber auch eine sorgältigere Abwassersammlung und -reinigung, sind im Seeeinzugsgebiet dringend nötig. (Quelle: ▶«Auswertung der Zufluss-Untersuchungen 2000 bis 2004», Kanton Luzern)