Zeitschrift: Burgdorfer Jahrbuch

Herausgeber: Verein Burgdorfer Jahrbuch

Band: 69 (2002)

Artikel: Gletschersimulation der Region Burgdorf zur Würm-Eiszeit : Maturaarbeit Gymnasium Burgdorf

Autor: Wampfler, Rafael

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1075773

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.09.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Gletschersimulation der Region Burgdorf zur Würm-Eiszeit

Maturaarbeit Gymnasium Burgdorf

Rafael Wampfler

Vorwort

Meine ursprüngliche Idee war die Entwicklung eines Höhenmodells der Region Burgdorf am Computer. Auf diese Idee kam ich durch eine Arbeitsmappe zur Konstruktion eines digitalen Geländemodells. Herr Probst, der meine Arbeit anfangs betreute, fand diese Idee auch gut, wollte aber noch einen grösseren Zusammenhang zur Geografie herstellen. Wir einigten uns auf ein digitales Höhenmodell, welches die Gletscherlage der Region zur letzten Eiszeit darstellt. Glücklicherweise spielte sich das ganze Geschehen in unserer Region ab. Es ist einfacher, wenn man sich in der Region aufhalten kann, so ist man schneller an den entsprechenden Stellen und kann Untersuchungen vor Ort vornehmen. Da mir die Region bekannt ist, kann ich mich schneller zurechtfinden und muss mich nicht allzu lange in das geografische Gebiet einarbeiten. Ausserdem ist es interessant, etwas über die Entstehung der Region zu erfahren, in der man sich Tag für Tag aufhält.

Dass es in Teilen der Schweiz vor vielen Jahren mehr Eis hatte als heute, kann man sich noch vorstellen. Schwieriger wird es mit der Tatsache, dass auch Teile der Region Burgdorf unter einer dicken Eisschicht lagen. Die Eiszeiten mit ihren gewaltigen Gletschervorstössen hatten entscheidende Auswirkungen auf das Landschaftsbild von heute. Viele Hügelformen sind in der letzten Eiszeit von den Gletschern geschaffen worden und der Boden besteht zum grössten Teil aus der Grundmoräne des Gletschers. Der Hügelwall, auf dem die Altstadt von Burgdorf und schliesslich auch das Gymnasium stehen, sind Rückstände dieser Gletscher aus der Würm-Eiszeit. Noch weniger bekannt ist, dass es in der Nähe von Burgdorf auch einmal einen See gab, von dem heute nichts mehr zu sehen ist. Seit der letzten Eiszeit

änderte sich die Geländeform nicht mehr stark. Nur durch Erosion der Gewässer wurde später noch Material abgetragen, aber Wasser transportiert viel weniger Gestein als Gletscher. Dadurch sind viele Auswirkungen der letzten Eiszeit noch heute zu erkennen.
Sämtliche geografischen Begriffe beziehen sich selbstverständlich auf die heutigen Orte. Zu dieser Zeit gab es noch keine «Zivilisation», alle geografischen Punkte wurden erst sehr viel später benannt.

Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Eine Arbeit, die das Geschehen vor über 10 000 Jahren wiedergeben soll, bringt einige Probleme mit sich. Viele Sachen kann man nur vermuten, da aus dieser Zeit noch keine schriftlichen Dokumente bestehen. Besonders die Gegebenheiten des Gletschers sind schwer nachzuvollziehen, weil von diesem Gletscher heute, abgesehen von Geschiebe, hier absolut nichts mehr zu sehen ist. Man kann sich also nur auf die heutigen Geländehinweise verlassen. Spannend ist die Suche nach der Geomorphologie der Region Burgdorf durch die letzte Eiszeit. Welche Veränderungen im Gelände sind vor über 10 000 Jahren geschehen? Wo zog der Gletscher genau durch und warum nicht an einem anderen Ort, was heute durch die Talform logischer wäre? Welche Form hatte damals der Gletscher? Kann man ihn mit heutigen Gletschern vergleichen? Warum gab es bei Burgdorf einen Stausee und wie gross war er? Kann man die Tiefe des Sees bestimmen? Hatte dieser See Folgen für die Veränderung der Region? Alles Fragen, die sich nur mit einigen Vermutungen beantworten lassen, was bedeutet, dass die Antworten vielleicht gar nicht stimmen. Der einzige Punkt, dem man noch heute nachforschen kann, sind Gletscherablagerungen wie Moränen, Schotter und Findlinge. Das Bestimmen des Alters und der Herkunft dieser Gesteine ist die Aufgabe des Geologen. Durch diese Angaben kann die Situation zur Eiszeit modellhaft rekonstruiert werden und so weiss man heute ein paar Sachen über die längst vergangene Zeit.
Eine andere Schwierigkeit ist die Modellumsetzung mit dem Computer. Ich hatte vorher noch nie so etwas gemacht und hatte keine Ahnung, wie schwierig und ob es überhaupt realisierbar ist. Ich musste einsehen, dass es nicht leicht ist, einen Gletscher zu simulieren, der jenem der letzten Eiszeit gleicht.
Bei einem heutigen Gletschervorstoss würde das Eis sehr wahrscheinlich

einen anderen Weg wählen. Über diese Schwierigkeiten gibt es viel zu berichten, nach dem Kapitel über die Simulation sollte aber die Funktionsweise der ganzen Simulation verständlich sein.
Das Ziel der Arbeit war das Erzeugen eines dreidimensionalen Geländemodells der letzten Eiszeit mit dem Computer. Betrachtet wird nur die Region um Burgdorf, das sind 100 km^2 mit Zentrum im Gymnasium Burgdorf. Im Modell sollte der Aare- und Rhonegletscher eingezeichnet sein und der Fliessverlauf sollte realistisch wirken. Die Simulation des Gletschers sollte dynamisch aufgebaut sein: Mit der Änderung weniger Parameter sollten verschiedene Formen und Arten von Gletschern in das heutige Geländemodell der Region Burgdorf eingezeichnet werden können. Das Ziel wäre die Simulation des Gletschers zu verschiedenen Zeitpunkten der Würm-Eiszeit. Der durch den Gletscher gestaute See sollte auch ersichtlich sein.
Im schriftlichen Teil der Arbeit wird die Lage der Region in der Eiszeit erläutert und die ganze Simulationsproblematik erklärt. Mein Modell und die Vorstellungen der Geologen sollten miteinander verglichen und auf Fehler geprüft werden.
Fotos von eiszeitlichen Spuren aus der Region und Ausdrucke aus der Simulation sind zum besseren Verständnis enthalten.

Die letzte Eiszeit in der Schweiz vor 115 000 – 10 000 Jahren

Das Alter der Erde wird in verschiedene Zeitalter eingeteilt. Die Eiszeiten befinden sich in der Quartärperiode, welche vor 2 Mio. Jahren begann. Das Eiszeitalter wird auch Diluvium oder Pleistozän genannt, darauf folgt die Nacheiszeit (Alluvium). Die Eiszeiten begannen vor mindestens 1,5 Mio. Jahren, die grösste Eiszeit war vor 350 000 Jahren. In Europa gab es zwei grosse Vereisungszentren: Skandinavien und die Alpen. Im Quartär gab es mindestens vier grosse Eiszeiten, wobei diese nach einigen Tausend Jahren immer wieder durch eine Zwischeneiszeit (Warmzeit) unterbrochen wurden. Die Eiszeiten sind nach Nebenflüssen der Donau benannt. In zeitlicher Reihenfolge lauten sie: Günz-, Mindel-, Riss- und Würm-Eiszeit. Vorher gab es vermutlich noch eine Biber- und Donau-Eiszeit. Die Würm-Eiszeit begann vor 115 000 und endete vor 10 000 Jahren. Der zweite Vorstoss vor 20 000 Jahren war der grösste der Würm-Eiszeit. Von dieser Eiszeit sind heute am meisten Rückstände zu finden, da es die jüngste ist. Der Verlauf der Gletscher lässt schon das heutige Tal- und Seenetz erkennen. Von der Würm

sind auch die meisten glazialen Ablagerungen zu finden. Von allen Eiszeiten war die Riss-Eiszeit am kältesten, das Gletschereis stiess am weitesten ins Flachland vor. Heute leben wir wahrscheinlich in einer Zwischeneiszeit.
Bei diesen Eiszeiten war beinahe die ganze Schweiz mit einer dicken Eisdecke bedeckt. Es gab eine drastische Wetterverschlechterung, die Temperaturen sanken um ca. 10° C unter die heutigen. Dadurch wurde die Schneegrenze stark abgesenkt und die Gletscher rückten weit vor. Sie reichten bis ins Mittelland und sogar über die Schweizer Grenzen hinaus, wo heute keine Gletscher zu finden sind. In der Warmzeit zogen sie sich wieder in die Alpen zurück, die Vergletscherung der Alpen war während den Zwischeneiszeiten teilweise geringer als heute.
Weil es in den Eiszeiten sehr viel Niederschlag gab, wurden die Gletscher bis zu 1 km dick. Die wichtigsten Gletscher der Schweiz waren Rhein-, Linth-, Reuss-, Aare- und Rhonegletscher. Die Südalpen brachten nur kleine Gletscher hervor.
Rückstände aus den Eiszeiten findet man massenhaft. An vielen Orten kommen Wall-, Grund- und Endmoränen (Gesteinsaufhäufungen durch Gletscher), glazifluviale Schotter (eiszeitliche Schmelzwasserablagerungen), Findlinge (durch Gletscher transportiertes Fremdgestein, erratische Blöcke) und Drumlins vor. Drumlins sind schildförmige Hügel mit einem ovalen Grundriss, der längere Durchmesser in Gletscherrichtung. Drumlins sind etwa 100 m lang und treten manchmal in Gruppen auf. Sie bestehen aus Grundmoränenmaterial, selten enthalten sie einen Kern aus Molasse oder Schotter. Seltener sind Gletscherschliffe und Gletschertöpfe (Erosionsarbeit durch Mahlstein und Wasser) anzutreffen. Solche Naturschönheiten kann man zum Beispiel im Gletschergarten von Luzern bewundern, wo sich ein Gletschertopf von 8 m Tiefe befindet.
Der Mensch lebte in der Würm-Eiszeit noch in der Höhle (etwa Neandertalerstadium). Er war Jäger und Sammler und zeichnete lieber Rentierdarstellungen als Gletscher an die Höhlenwände.

Geologische Beschaffenheit von Burgdorf

Die Geologie befasst sich mit der Zusammensetzung und dem Aufbau des Untergrundes. Dabei sind Entstehungsart und Alter des Gesteins wichtig. Fast im ganzen Mittelland besteht die unterste Schicht aus Molasse, wel-

che schon in der Tertiärzeit (vor dem Eiszeitalter) abgelagert wurde. Unterteilt ist diese Molasse in untere Meeresmolasse, untere Süsswassermolasse, obere Meeresmolasse und zuoberst die obere Süsswassermolasse. Sie entstanden bei den Meeresvorstössen bis ins heutige Mittelland und enthalten bunten Mergel, Sandstein und Nagelfluh. Zum Teil ist das Gestein bis auf die untere Süsswassermolasse abgetragen, so auch in Burgdorf. Auf diese Molasse wurde dann Gestein aus der Quartärzeit abgelagert. Bei jedem Eiszeitrückzug bleibt das Geschiebe des Gletschers in Form von glazialen Ablagerungen zurück; man sollte also Geschiebe von allen vier Eiszeiten finden. Dies ist jedoch nicht der Fall, da der nächste Eisvorstoss die Spuren der letzten Eiszeit ziemlich stark verwischt oder auslöscht. Die meisten Gletscherablagerungen findet man also von der letzten Eiszeit. Obwohl Geschiebe früherer Eiszeiten lückenhaft oder unsicher ist, gelingt es Geologen, auch diese zu finden. Nacheiszeitliche Veränderungen entstehen fast nur noch durch Schotterablagerung oder Erosion der Flüsse.
So ist es auch in der Region Burgdorf zu erwarten: Ablagerungen der Günz- und Mindel-Eiszeit fehlen fast ganz.
Spuren der Riss-Eiszeit sind Moränen und glazifluviale Schotter. Das ganze Emmental ist mit Glazialschutt überdeckt, da der Rhonegletscher bis nach Langnau reichte, viel weiter als in der Würm. Einzig das Napfgebiet war zu dieser Zeit eisfrei. Moränen fand man nur wenige Reststücke, so zum Beispiel ein Stück südlich von Oberburg.
Da die Würm-Eiszeit ein sehr grosses Gebiet mit Eis überdeckte, sind dementsprechend viele Spuren zu finden. In der Region Burgdorf findet man diverse Spuren: Findlinge hat es viele im Pleerwald, westlich von Burgdorf. Man vermutet, dass es früher in der Gegend viel mehr solche erratische Blöcke gegeben hatte, doch wurden diese Gesteinsbrocken gerne zur Herstellung von Marksteinen und Treppenstufen benutzt, wodurch es heute nur noch wenige hat. In der Umgebung von Hettiswil kann man Drumlins finden. Einige Spuren werden auf Fotos noch zu sehen sein. Grundmoränen und Schotter sind grossflächig vorhanden, sind aber schlecht als solche zu erkennen. Aufschlüsse findet man meist in den Aufschüttungen der Kiesgruben.
Die Veränderungen der Region Burgdorf nach der Eiszeit beschränken sich auf Erosion und Akkumulation durch die Emme. Ein breites Band Flussschotter folgt dem Lauf der Emme und anderen Flüssen. Diese Schotter liegen direkt auf der unteren Süsswassermolasse, da die anderen Molasseschichten schon abgetragen oder nur sehr dünn ausgebildet wurden.

Das Gebiet südöstlich von Burgdorf blieb die ganze Würm eisfrei, es wurde nur vom Stausee betroffen. In diesem Gebiet kann man daher kein Geschiebe aus der Würm finden. Das Gebiet des Emmentals, welches nicht vom See überflutet wurde, besteht aus Molassematerial. Die Talböden sind aus nacheiszeitlichen Schotterablagerungen der Emme gebildet.
Geologisch weniger wichtig, jedoch nicht weniger interessant, sind Fundstücke von Tieren aus der letzten Eiszeit. Murmeltierknochen fand man in Hasle, Krauchthal, auf dem Gsteig, im Steinhof und auf dem Finkhubel. 1978 fand man in der Kiesgrube Eichholz bei Hasle einen Mammutknochen, früher fand man einen mächtigen Mammutstosszahn in Ramsei. Einen weniger häufigen Fund machte man in Krauchthal, wo ein Backenzahnfragment eines wollhaarigen Nashorns aufgetaucht ist.

Burgdorf während der letzten Eiszeit

Auch das Mittelland wurde von der gesamtschweizerischen Vergletscherung der Würm-Eiszeit nicht verschont. Interessant ist die Lage der Region Burgdorf. Westlich der Linie Krauchthal–Wynigen war der Gletscher, östlich war kein Gletscher, sondern nur der Stausee. Die Region Burgdorf wurde von drei grossen Gletschern betroffen: Aare- und Rhonegletscher sind die grossen, doch gab es noch einen Emmegletscher, der sich durch das Emmental Burgdorf näherte. Dieser kleine Gletscher erreichte das Ende des Emmentals (also Burgdorf) nie, er kam in der Würm-Eiszeit maximal bis nach Eggiwil.
Da die Gletscherlage in Burgdorf entscheidend war, wird nur dieser Teil genauer betrachtet. Das heutige Bild von Burgdorf haben Aare- und Rhonegletscher geprägt. Der grössere Rhonegletscher kam vom Genfersee bis nach Solothurn, der Aaregletscher von Thun Richtung Bern durch das Aaretal. In der Nähe von Bern trafen die beiden aufeinander. Beide Gletscher verschmolzen zu einem und flossen Richtung Solothurn. Die Täler der Krauchthal-Burgdorf-Wynigen-Linie bildeten die seitliche Begrenzung des Gletschers. Der Gletscher floss knapp an Krauchthal Richtung Burgdorf vorbei. In Burgdorf wurde das Gebiet zwischen dem Pleerwald und dem Binzberg während einer längeren Zeit vom Gletschereis versperrt. Somit war das ganze Emmental vom Gletscher abgeriegelt. Diese Situation ist in Abbildung 1 dargestellt. Wie dick der Gletscher wirklich war, ist nicht bekannt, vermutet wird eine Dicke von mehreren hundert Metern.

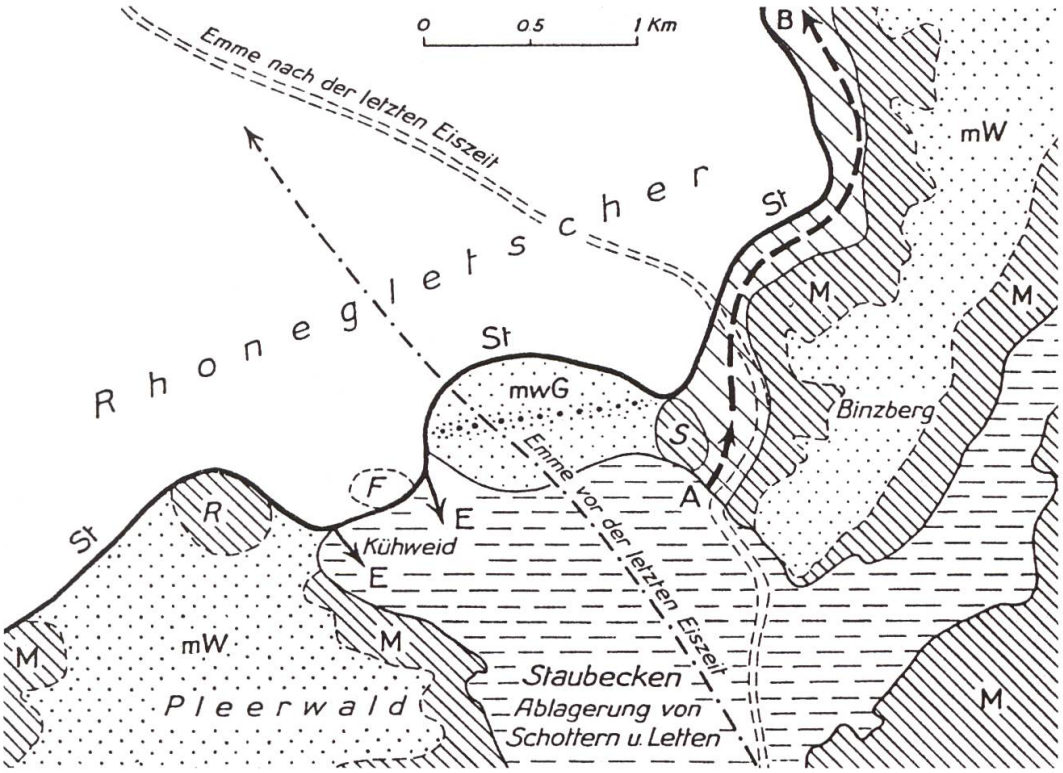

Abb. 1 Burgdorf in der letzten Eiszeit
M *Molasse*
mW *Moräne des Maximalstadiums der Würm-Eiszeit*
mwG *Moränenwall vom Gsteig*
St *Stirnrand des Rhonegletschers*
E *Einlauf Staubecken; A Auslauf*
A–B *Emme während der Würm-Eiszeit*
F *Kiesgrube Fink*
R *Rohrmooshubel*
S *Schlosshügel*

Die Folge des Abschlusses des Emmentals war, dass das Wasser nicht mehr abfliessen konnte, so auch das Schmelzwasser des Emmegletschers. Da das Emmental nicht mehr entwässert wurde, bildete sich ein grosser Stausee bis nach Lützelflüh. Das Emmental gab dem See eine längliche Form, er hatte eine maximale Länge von 7,5 km, war aber im Durchschnitt nur 1 km breit. Weil ein Gletscherabfluss immer viel Gestein enthält, wurde der Talboden des Sees langsam durch Schutt aufgefüllt, es entstand eine Schotterflur durch das ganze Emmental. Diese Schotterschicht ist an gewissen Stellen bis zu 55 m dick und bildet eine gleichmässige Talterrasse. Die Seitentäler des Emmentals wurden ebenfalls aufgestaut, auch dort kann man

eine Aufschotterung feststellen. Ein kleiner Arm des Stausees ging in Richtung Wynigen. Zu der Zeit, als der Abfluss versperrt war, war die Wasserzufuhr des Emmegletschers am grössten. Der Abfluss musste neu gelöst werden, da der alte vom Gletscher versperrt war.
Vor der letzten Eiszeit waren der Schlosshügel und die Gisnauflühe noch im gleichen Gesteinsmassiv, dem Binzberg-Düttisberg-Hügelzug. Der Emmeabfluss war viel südlicher als der heutige, die grösste Abweichung vom heutigen Abfluss betrug 1,2 km.
Während dem zweiten Vorstoss (Maximalvorstoss) der letzten Eiszeit war der Abfluss versperrt, das Wasser bahnte sich einen Weg Richtung Norden, dem Gletscherrand entlang. Zwischen dem Schlossfelsen und den Gisnauflühen wurde ein gewaltiger Graben erodiert. Die Abflussrinne war während der Eiszeit teilweise sogar tiefer als das heutige Terrainniveau.
Seit der letzten Eiszeit steht der Schlosshügel isoliert, denn er wurde nicht aus Moränenmaterial des Gletschers gebildet, sondern aus Molasse! Der aus Sandstein bestehende Schlosshügel musste vor einigen Jahren mit Betoninjektionen und anderen Massnahmen verstärkt werden, da er sonst zerfallen wäre.
Heute fliesst die Emme nicht mehr gegen Wynigen wie zur letzten Eiszeit, sondern wieder nordwestlich Richtung Kirchberg. Der Emmelauf hat die gleiche Richtung wie vor der Eiszeit.
Es ist schwer festzustellen, wie hoch der Seespiegel des Burgdorfersees tatsächlich war: Nach den Verhältnissen bei Burgdorf etwa 640 m ü. M. Doch der See wurde fast bis nach Wynigen gestaut. So weit man Schotterablagerungen des Sees finden kann, musste der Seespiegel einmal dort gewesen sein. Damit ergäbe sich ein Seespiegel von 710 m ü. M. Ebenfalls gestaut wurde ein kleiner Teil des oberen Krauchthals. Möglich ist auch, dass das Wasser durch Gletscherspalten abgeflossen ist, wodurch die Resultate verfälscht werden. Falls der Grund auf gleicher Höhe wie heute war (Oberburg heute 540 m ü. M.), ergäbe sich eine Seetiefe von maximal 150 m.

Geomorphologie der Eiszeit

Jede Eiszeit bringt grosse Änderungen im Landschaftsbild mit sich. Einerseits wird durch Gletschererosion Material abgetragen, anderseits wird durch den Gletscher Gestein abgelagert (Akkumulation). Die enormen Eis-

massen, unter welchen ein grosser Druck herrscht, schleifen den Untergrund ab. Das Gletschereis war in der Gegend bis zu 800 m dick, was eine Bodenbelastung von mindestens 500 t/m^2 ergibt. Die Landschaft wird durch das Eis geglättet. Was dem Gletscher im Weg steht, wird weggeräumt. Typisch für die Erosionswirkung eines Gletschers sind Gletscherschliffe, sie sind aber in der Region nicht zu finden, da der Gletscher eine genügend grosse Ausbreitungsfläche hatte. Aufgehäufte Gesteinsmassen wie Seitenmoränen oder vom Gletscher transportiertes Gestein bleiben nach dem Rückzug an Ort und Stelle und sind heute als glaziale Ablagerungen sichtbar.
Da Burgdorf ein Randgebiet des Gletschers war, sind viele solcher Spuren wiederzufinden. Moränen aus der Würm gibt es viele, sie sind aber über ein grösseres Gebiet verteilt. Es kam nicht zur Bildung von typischen Moränenwällen. Daraus lässt sich schliessen, dass der Eishöchststand nur von kurzer Dauer gewesen war. Eine wichtige Seitenmoräne ist das Kirchbühl und der Gsteighügel, auf welcher die Oberstadt von Burgdorf gebaut ist. Der Höhenunterschied beträgt immerhin bis zu 31 m. Durch diese Seitenmoräne wurde in der letzten Eiszeit das Emmental abgeriegelt und der Stausee entstand. Noch heute ist Burgdorf symbolisch das Tor zum Emmental. Die Endmoräne des Rhonegletschers befindet sich in der Nähe von Solothurn.

Gletschersimulation im Raum Burgdorf; das Grundmodell

Die Gletschersimulation basiert auf dem heutigen Höhenmodell der Region Burgdorf, in der Arbeit als Grundmodell bezeichnet. Ein digitales Höhenmodell ist ein Datensatz, womit die dreidimensionale Oberflächenstruktur eines Gebietes am Computer wiedergegeben werden kann. Durch den Computer kann man im Höhenmodell Berechnungen und Veränderungen vornehmen. Das Modell kann in viele verschiedene Perspektiven gedreht werden.
Mit der Benutzungslizenz für Schulen erhielt ich die digitalen Höhendaten von 5 km in alle Himmelsrichtungen vom Zentrum des Gymnasiums Burgdorf. Die Modellfläche beträgt somit 100 km^2. Im Modell ist das Gelände von folgenden grösseren Ortschaften enthalten: Kirchberg, Burgdorf, Heimiswil, Oberburg und Hasle-Rüegsau. Der genaue Ausschnitt der Daten ist im Quellenverzeichnis erwähnt. Diese Daten stellen nun die dreidimensio-

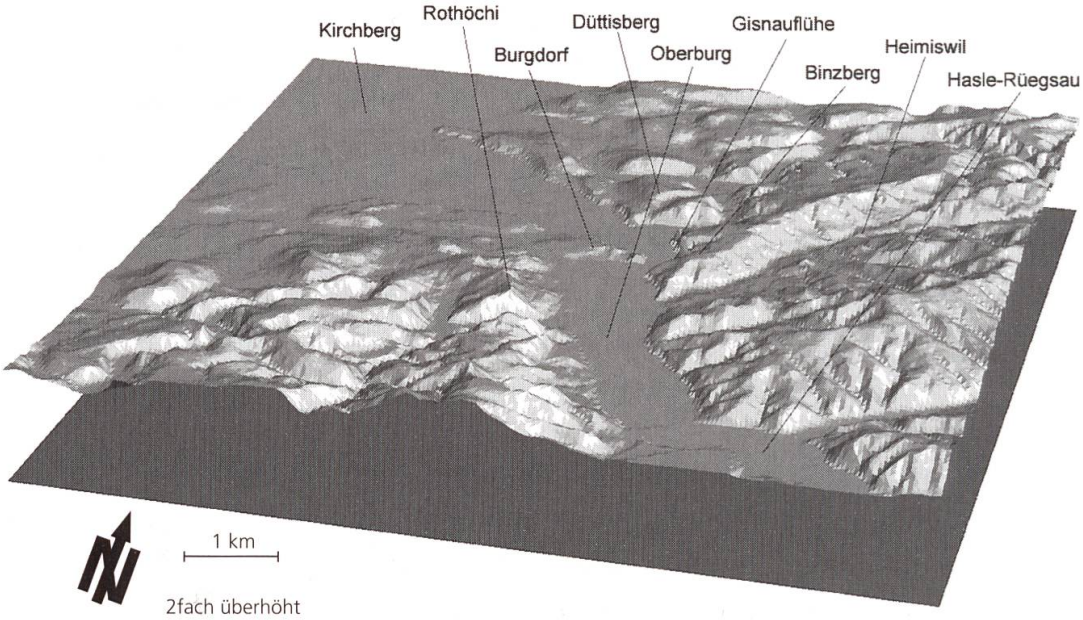

Abb. 2 Grundmodell der Region Burgdorf

nale Oberfläche der Region Burgdorf dar, und zwar zum heutigen Zeitpunkt! Nicht dargestellt werden Bebauung, Gewässer, Verkehrsnetze und Vegetation des Gebietes. Besser wäre natürlich ein Höhenmodell zur letzten Eiszeit vor 20 000 Jahren. Rein aus der Sicht der Geologen wäre es möglich, ein Modell der Würm-Eiszeit zu machen.

Die Daten stammen aus dem Matrixmodell DHM25 vom Bundesamt für Landestopographie. Dieses Modell wurde von der ganzen Schweiz hergestellt. Die Landestopographie erstellt zuerst mit einem Computer ein Basismodell, indem sie die 1:25 000-Landeskarten der gesamten Schweiz einscannt. Die Höhenlinien werden durch ein Programm vektorisiert. Je mehr Höhenlinien, desto mehr Datenpunkte ergeben sich für das Basismodell. Das Ziel sind jedoch die Höhendaten in einem rechteckigen Koordinatensystem oder Gitternetz. In einem zweiten Schritt errechnet der Computer mit einem Analog-Digitalwandler durch Interpolation aus dem Basisvektormodell das Matrixmodell. Im Matrixmodell wird jedem Ortspunkt (x/y) die Höhe (z) zugeordnet, es entsteht ein Modell basierend auf einem rechteckigen Koordinatensystem. Das Ergebnis ist ein digitales Höhenmodell mit konstanter Datenmenge pro Fläche und mit einer Maschenweite von 25 m. Auf der Landeskarte 1:25 000 entspricht eine Maschenweite von 25 m einem Gitter von nur 1 mm. Das Modell enthält nur die Höhenwerte in dm, nicht aber die Ortskoordinaten. Die Genauigkeit zu den wirklichen

Höhenwerten beträgt für das Mittelland 1–2 m, in den Alpen 6–8 m. Diese Abweichung ist aber nicht weiter schlimm. Das Matrixmodell ist optimal für das Zeichnen eines dreidimensionalen Höhenmodells geeignet, da der Computer mit entsprechender Software aus den Höhenpunkten direkt die Oberfläche darstellen kann. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem digitalen Höhenmodell DHM25 und stellt die Gegend 100 km^2 um Burgdorf dar.

Simulation des Gletschers

Um ein Höhenmodell darzustellen, braucht man die richtige Software. Da der Aufwand zu gross gewesen wäre, ein eigenes Programm für die dreidimensionale Darstellung zu schreiben, musste ich mich mit einem bestehenden Programm zufrieden geben. Benutzt habe ich das Tabellenkalkulationsprogramm Excel von Microsoft. Es hat den Vorteil, dass die Berechnungen in der Tabelle sehr praktisch zu bearbeiten sind. Ausserdem kann es Daten als dreidimensionale Oberfläche darstellen, was für meine Arbeit unbedingt notwendig ist. Excel kann aber nur Tabellen verwalten, die 256 Spalten breit sind, mein Modell ist aber 401 Spalten breit. Ich kürzte das Modell auf 200 × 200 Daten, die Maschenweite beträgt jetzt 50 m. Diese Datenmenge ist viel schneller zu berechnen und immer noch genug präzise, um die Region darzustellen.
Die Simulation wird in mehreren Schritten erzeugt. Durch Veränderungen weniger Parameter soll der Computer das Modell selbständig zeichnen können. Die variierbaren Grössen sind die Gletschergrundhöhe, der Gletscherfaktor und die Seehöhe des Stausees. Jeder einzelne Berechnungsschritt wird auf einem separaten Tabellenblatt gerechnet. Die ganze Simulation umfasst 5 Tabellen für die Berechnung, eine für die Grunddaten und eine für die Ausgabe des Modells. Auf den Berechnungstabellen sind Zahlenmatrizen von je 200 × 200 Daten enthalten.
Die Simulation ist auf der Grundidee aufgebaut, dass alle Punkte unter einem gewissen Höhenwert als Gletscher definiert werden. Diese Gletschergrundform ist durch die Beschaffenheit des Geländes im Mittelland sehr unregelmässig und muss später geglättet und angepasst werden. Da das Mittelland sehr flach ist, hat der Gletscher eine Schildform. Talgletscher, wie man sie heute in den Alpen findet, haben eine viel einfachere Form. Sie sind weniger stark gewölbt und somit nicht mit der Form eines Schild-

gletschers vergleichbar. Eisschilde gibt es heute noch an den Polen. Die Fliessrichtung eines Gletschers ist durch die Richtung des Gefälles bestimmt, in der Region Burgdorf also gegen Norden.
Auf dem ersten Datenblatt sind die Matrixdaten des DHM25, welche die heutige Geländeoberfläche darstellen. Die erste Zelle im Excel-Modell enthält den Wert 4935 (Höhenwert in dm: = 493,5 m ü. M.).
Im ersten Berechnungsschritt wird die Gletschergrundfläche (Boden) erzeugt. Allen Werten des Höhenmodells, die kleiner sind als die Gletschergrundhöhe, wird die Zahl 1 zugeordnet. Es entsteht ein Gletschersee mit der Höhe 1. In einem späteren Schritt wird aus allen Daten mit Wert 1 der Gletscher geformt.
Excelformel: = WENN(Daten!A1<Modell!$C$3;1;Daten!A1).
Zweiter Schritt ist das Abschneiden von Hügeln. Ein Gletscher überfliesst kleinere Hügelzüge. Wenn er das nicht täte, würde in kleinen Tälern ein Minigletscher entstehen. In diesem Tabellenblatt werden Hügelgebiete durch Gletscher ersetzt, falls weiter östlich noch ein Gletscherteil auftritt. Dieser Schritt gibt viel zu rechnen, da er bei jedem Punkt bis ans Ende der Spalte voraussehen muss, das sind bis zu 200 Werte.
Excelformel: = WENN(HÄUFIGKEIT('1'!A1:$GS1;1)>0;1;'1'!A1).
Der nächste Schritt ist für die Form des Gletscherrandes wichtig. Es darf nicht der Fall sein, dass der Gletscher in jedes kleinste Tälchen hineinfliesst, da sonst der Gletscherrand sehr zackig wird. Durch den Gletscher wird er aber stark abgerundet. Mit einer Funktion werden von jedem Wert die umliegenden 65 Werte geprüft, ob da schon Gletscher ist oder nicht. Wenn genügend Werte Gletscher sind, übernimmt auch dieser Wert Gletscher, ansonsten bleibt er Gelände. Auch dieser Schritt gibt viel zu rechnen.
Excelformel: = WENN(HÄUFIGKEIT('2'!E1:I13;1)>Modell!$C$5;1;'2'!G7).
Jetzt wird der eigentliche Gletscher erzeugt. Alle Punkte mit dem Wert 1 müssen zum Gletscher gemacht werden. Dazu werden die Daten durchnummeriert, die Nummer 1 steht am Gletscherrand. Die Nummern nehmen zur Mitte des Gletschers stets zu. Dem Gletscher wird durch eine Funktion die Form gegeben. Ich wählte dazu die natürliche Logarithmusfunktion y=ln(x), da diese Funktion die Wölbung nach meinen Ansichten am besten annähert. Eine andere Variante war die Wurzelfunktion, sie ist aber am Rand zu flach. Aus den vorher durchnummerierten Punkten wird jetzt der Funktionswert gebildet. Dadurch steigt der Gletscher am Rand stark an und steigt gegen die Mitte immer weniger, wodurch ein Eisschild entsteht. Die Funktion wird noch mit dem Gletscherdickefaktor multipliziert, so kann

die Gletscherdicke später im Modell variiert werden. Zusätzlich muss die Gletschergrundhöhe addiert werden, um auf die gewünschte Höhe zu kommen.
Excelformel: = WENN('3'!A1<200;Modell!$C$4*LN(HÄUFIGKEIT ('3'!A1:$GS1;1)) +Modell!$C$3;'3'!A1).
Im letzten Berechnungsschritt wird der See generiert. Die Berechnung verläuft gleich wie im ersten Schritt. Alle Punkte kleiner als die Seehöhe übernehmen die Seehöhe.
Excelformel: = WENN('4'!A1<Modell!$C$6;Modell!$C$6;'4'!A1).
Auf dem Modellblatt wird das Modell dargestellt. Hier können die einzelnen Parameter für die Gletschersimulation verändert werden. Es braucht viel Zeit, bis man durch Experimentieren mit den Parameterwerten zu einem gewünschten Resultat gelangt. Das Modell ist durch Excel mit einer dreidimensionalen Schattierung eingefärbt. Das ganze Modell ist 2fach überhöht, da sonst viel weniger zu sehen wäre, weil das Gelände sehr flach ist.

Simulationsergebnisse

Um mit der Simulation auf gewünschte Ergebnisse zu kommen, muss man eine Weile mit den verschiedenen Parametern die beste Simulation ausprobieren. Durch extreme Werte können Bilder generiert werden, die sich in der Natur niemals ergeben würden.
Die Abbildung 3 zeigt die Situation zur Zeit des Würm-Höchststandes vor 20 000 Jahren. Die Lage des Gletschers ist etwa dieselbe wie die auf Abbildung 1. Die Gletschergrundhöhe ist auf 535 m, die Seehöhe auf 580 m. Die maximale Eisdicke beträgt in der Region etwa 250 m. Der Gletscher bedeckt eine sehr grosse Fläche des Modells. Der See und das Gebirge wurden nachträglich mit einer Bildbearbeitungssoftware eingefärbt. Diese Farben dienen jedoch nur zum besseren Verständnis. Der See ist blau und das Gelände einheitlich grün eingefärbt, sehr wahrscheinlich war aber das Gelände mit Schnee bedeckt.
Abbildung 4 zeigt den Gletscher mit einer Gletschergrundhöhe von 520 m ü. M. So könnte der Gletscher während dem Vorstoss oder dem Rückzug ausgesehen haben. Das Emmental ist nicht mehr verschlossen, wodurch sich kein Stausee bilden kann.
Wie hätte die Region ausgesehen, wenn der Gletscher in der Würm-Eiszeit

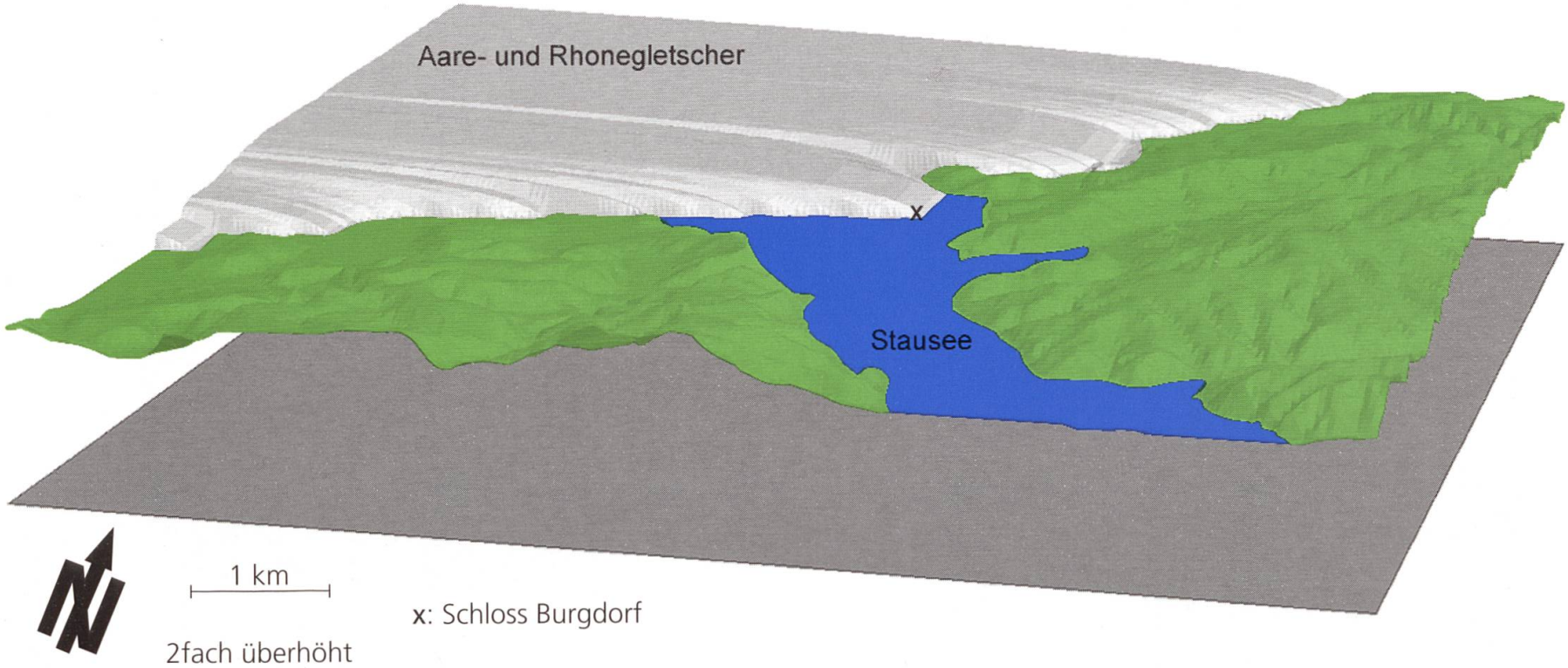

Abb. 3 Simulation der Region Burgdorf zur letzten Eiszeit

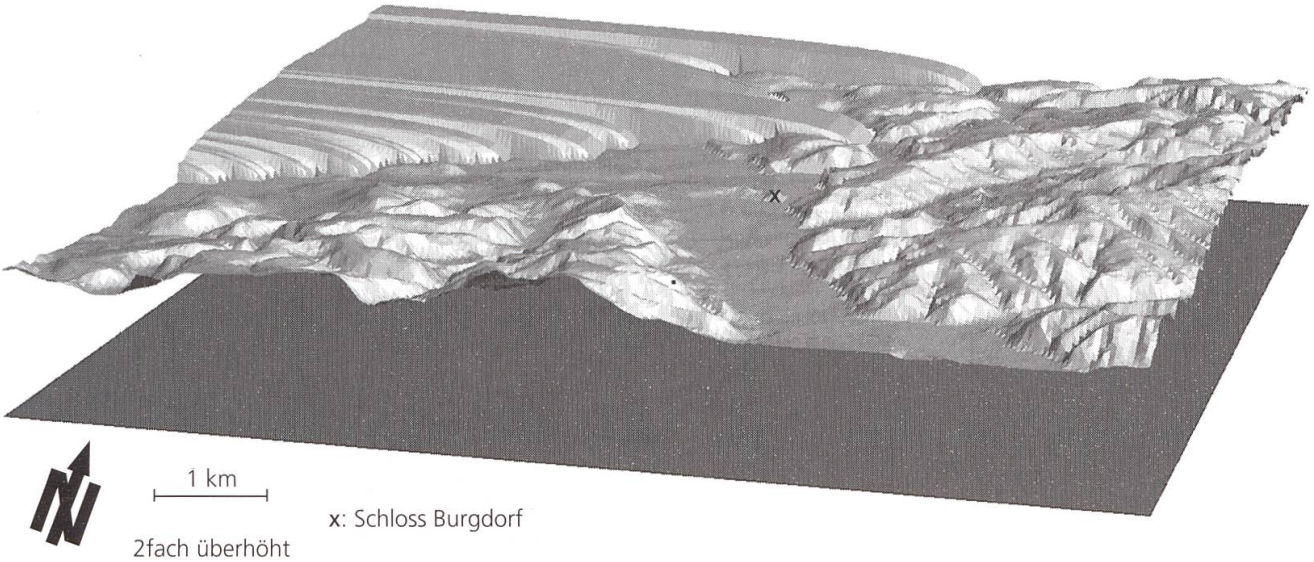

Abb. 4 Simulation des Gletschers während Vorstoss oder Rückzug

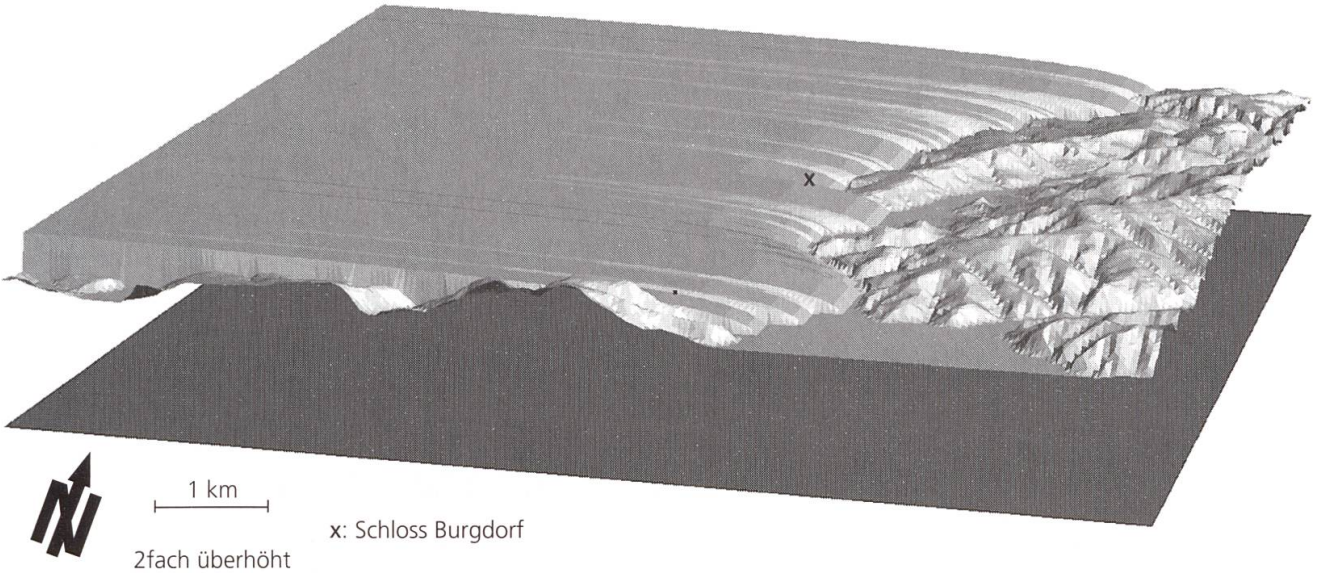

Abb. 5 Simulation der Region, falls der Gletscher weiter vorgestossen wäre

noch weiter vorgestossen wäre? Diese nicht eingetretene Situation ist auf der Abbildung 5 dargestellt. Die Gletschergrundhöhe befindet sich auf 560 m. Dabei floss der Gletscher viel weiter ins Emmental hinein. Das Eis reicht auf dem Bild fast bis nach Hasle, dadurch kann sich wieder ein Stausee bilden. Das ganze Gelände von Hettiswil bis Hasle wird von Eis überdeckt.

Vergleich mit geologischen Grundlagen

Es ist nicht möglich, einen Gletscher durch mathematische Formeln genau zu zeichnen. Trotzdem habe ich versucht, mit Funktionen einen Gletscher zu simulieren, welcher ungefähr dasselbe Gebiet wie der Gletscher im Atlas der Schweiz (Abb. 1) bedeckt. Meine Gletschersimulation ist nicht in jedem Punkt real, es gibt einige Stellen, welche nicht mit dem Atlas der Schweiz übereinstimmen. Im Modell konnte ich nicht sämtliche Einflüsse berücksichtigen, weil der Rechenaufwand sonst zu gross geworden wäre. Nicht berücksichtigt habe ich unter anderem das Klima. Durch die Sonnenwärme, Wind und Wasser wird die Gletscherform ebenfalls beeinflusst. Vernachlässigt habe ich auch das Gefälle der Gletscheroberfläche, welches 8‰ gegen Norden beträgt. Auf 10 km ergibt dies eine Differenz von 80 m.
Auf der Abbildung 6 ist mein Modell der Region Burgdorf zur letzten Eiszeit dargestellt. Es ist das gleiche Bild wie die Abbildung 3. Zusätzlich habe ich mit einer Linie den Gletscherverlauf aus dem Atlas der Schweiz übertragen. Der Gletscher im Atlas der Schweiz reicht generell ein wenig weiter östlich. Ich bin jedoch erstaunt, dass meine Simulation nicht mehr von dieser Linie abweicht. Anfangs dachte ich, dass die Simulation viel mehr abweichen würde und dass der Gletscher eventuell durch ein anderes Tal fliesst. Zum Glück ist dies nicht der Fall und die Annäherung ist bis auf ein paar Details gelungen. Daraus kann man schliessen, dass die Region Burgdorf in der letzten Eiszeit sehr ähnlich wie heute ausgesehen haben muss. Obwohl ich nur wenige gefunden habe, will ich doch noch die Fehler in meiner Simulation erwähnen. Die Simulationsfehler sind auf dem Modell umkreist. Ein Fehler befindet sich in der Mitte des Modells beim Düttisberg. Das Problem ist, dass das Tal gegen Wynigen an dieser Stelle bis auf die Höhe von 564 m ü. M. ansteigt. Dadurch konnte die Simulation den Hügelzug nicht mehr überfliessen. Durch den Einschnitt im Gletscher wird der

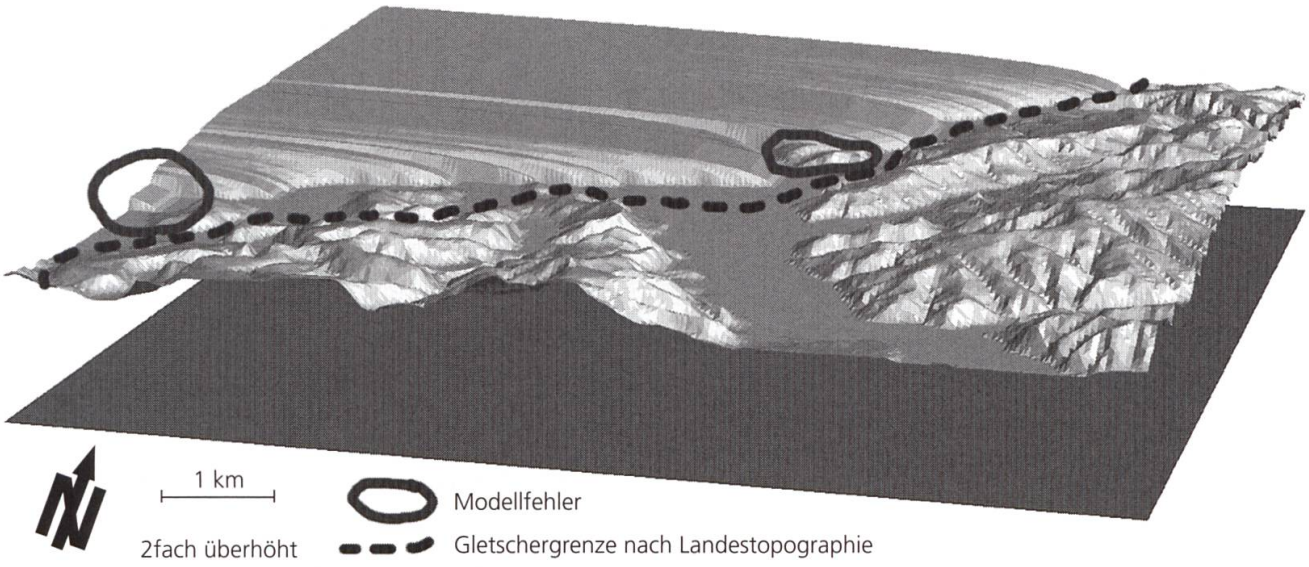

Abb. 6 Vergleich der Simulation mit dem Atlas der Schweiz

Gletscher nicht mehr richtig gefärbt, es ist ein heller Strich quer über das Eis sichtbar.
Der zweite Fehler tritt immer nur am Rand auf und ist auch auf Abbildung 4 und 5 gut zu sehen. Grund dafür ist die Rundungsfunktion, welche das leere Gebiet testet, wo keine Daten vorhanden sind.

Fotodokumentation

Mehrmals erwähnte ich, dass in der Region Burgdorf viele Spuren aus der letzten Eiszeit zu finden sind. Nachfolgend sind einige Bilder, worauf solche Spuren zu sehen sind. Die meisten Ablagerungen aus den Eiszeiten sind gar nicht zu erkennen, wenn man sich in diesem Gebiet nicht auskennt. So gibt es Hügelformen, welche wie Moränen oder Drumlins aussehen, aber keine sind. Dafür erkennt man die echten Drumlins und Moränen nicht, da sie so klein sind.
Auf der Abbildung 7 kann man den Moränenwall von Burgdorf erkennen, welcher von den Gletschern der Würm-Eiszeit aufgeschüttet worden war. Das alte Foto ist von den Gisnauflühen aus aufgenommen. Von dort hat man eine gute Aussicht, jedoch ist die Höhe der Moräne nur schlecht zu sehen. Auf der Moräne kann man die Kirche und das Gymnasium erkennen.

Abb. 7 Sicht auf Burgdorf von den Gisnauflühen aus, 1917

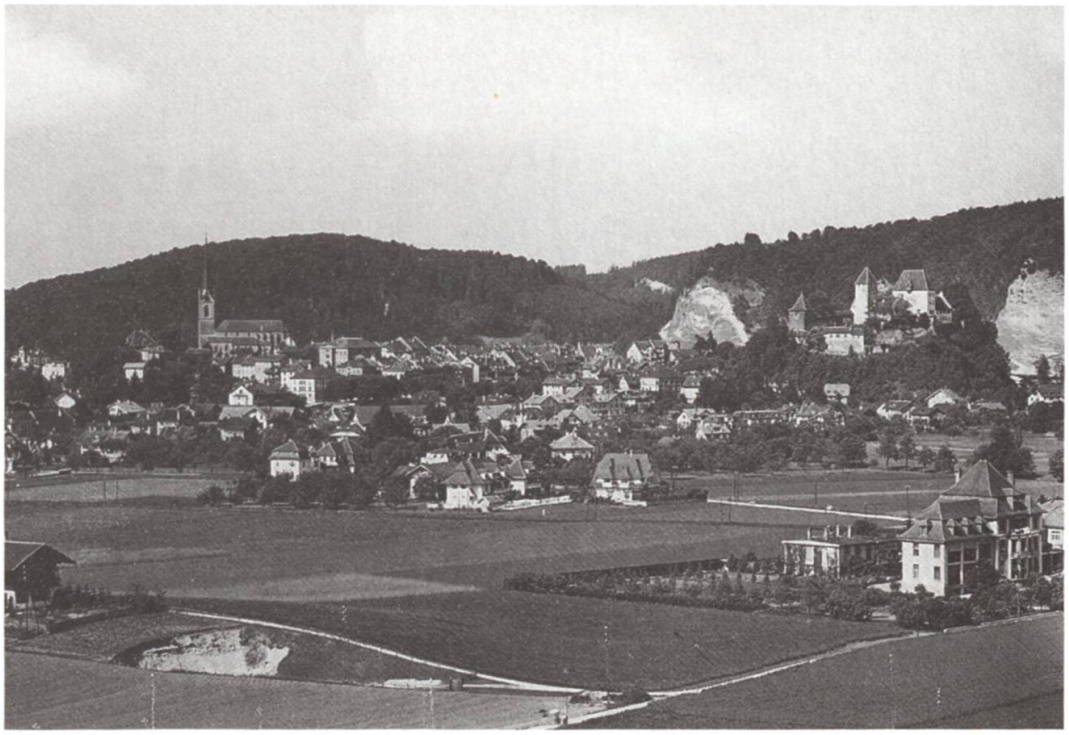

Abb. 8 Sicht auf Burgdorf vom Oberfeld aus, 1917

Die Abbildung 8 zeigt Burgdorf vom Standort Oberfeld beim Spital aus. Auf diesem Bild kann man die Höhe der Moräne besser sehen. Auf dem Bild erkennen wir Kirche und Schloss, wobei der Schlosshügel nicht aus Moränen-, sondern aus Molassematerial besteht.
Die Abbildung 9 ist beim Friedhof der Kirche Kirchberg aufgenommen worden. Dieser Findling wurde vom Rhonegletscher in der Würm-Eiszeit hierher gebracht. Er steht unter Schutz.
Zum Schluss ist auf der Abbildung 10 noch ein Drumlin zu sehen. Von diesem Drumlin in der Holzmühle bei Hindelbank steht in den Erläuterungen zum Geologischen Atlas, dass er eine typische Form habe. Ich war aber von diesem Drumlin ein wenig enttäuscht, weil er kaum zu erkennen ist. Der Drumlin befindet sich in der Mitte des Bildes und der kleine Weg führt direkt darüber. Der Höhenunterschied beträgt aber nur etwa 2 m.

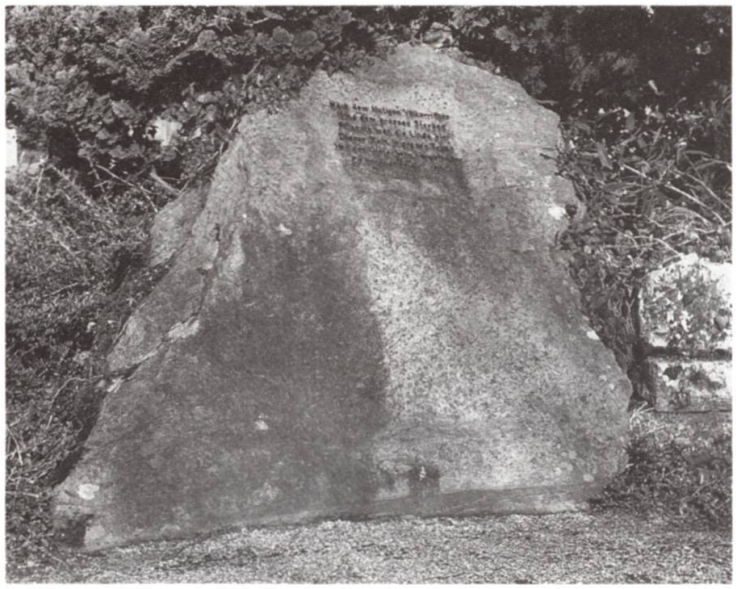

Abb. 9
Findling bei der Kirche Kirchberg

Abb. 10 Drumlin in der Holzmühle

Anhang

Schlussbetrachtung

An vielen Universitäten wird momentan an dreidimensionalen Geländemodellen gearbeitet. Im Frühling 2000 schickte die NASA ein Space Shuttle ins All, um ein dreidimensionales Höhenmodell der ganzen Erde mit Hilfe von Radarkameras zu erstellen.
Simulationen werden auch in der Schweiz immer wichtiger. Dazu werden neuerdings digitale Höhenmodelle verwendet: Das Matrixmodell DHM25 ist seit 1996 auf dem Markt. Vorher war eine digitale Geländesimulation schon deswegen unmöglich. Mit dem neuen Modell kann man zum Beispiel Lawinen, Bergstürze, Murgänge, Hochwasser und vieles mehr am Computer simulieren. Diese Technologie ist erst seit einigen Jahren verfügbar und steckt noch im Entwicklungsstadium. Da die Simulationen sehr rechenaufwendig sind, müssen immer schnellere Rechner benutzt werden.
Weil noch intensiv geforscht wird, ist auf diesem Gebiet auch fast keine Literatur zu finden. Ich musste vieles selbst erarbeiten. Trotzdem finde ich, dass die Simulation des Gletschers gelungen ist, weil die Abweichung vom Atlas der Schweiz nur gering ist. Allerdings habe ich keine Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Simulationen, da mir keine ähnliche Arbeit bekannt ist.
Ich kann mir gut vorstellen, dass mein Gletschermodell über das ganze Gebiet des ehemaligen Rhone- und Aaregletschers oder sogar über der ganzen Schweiz anwendbar wäre. Dabei würde aber sicher die Leistungsfähigkeit von Excel überschritten. Schon beim Modell der Region Burgdorf bewegte ich mich an der Leistungsgrenze. Diese Tatsache machte sich etwa in Computerabstürzen bemerkbar.
Zur Verbesserung meines Gletschermodells könnten folgende Aspekte einbezogen werden:

- Klimatische Bedingungen
- Fliesseigenschaften von Eis
- Beeinflussung durch den Untergrund
- Ausweitung auf ein grösseres Simulationsgebiet

Dank

Am Schluss meiner Arbeit danke ich folgenden Personen:

- Herrn Rickenbacher, Bundesamt für Landestopographie Wabern: Er ermöglichte die Beschaffung der DHM25-Daten erstmals mit der Schulbenutzungslizenz. Ohne diese Lizenz hätte der Datensatz den Betrag von 300 Fr. übertroffen.
- Gymnasium Burgdorf: Beschaffung der Daten vom Bundesamt für Landestopographie Wabern mit der Schulbenutzungslizenz, was mir gute Arbeitsvoraussetzungen bot.
- Herren Probst und Schwarz: Kompetente Betreuung des Arbeitsablaufes.

Quellenverzeichnis

Bücher
- Die Eiszeit im westlichen zentralen Mittelland (Schweiz). Hans Wilhelm Zimmermann, Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft, 1963.
- Einführung in die Quartärgeologie. Dr. Albert Schreiner, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 1992.
- Eiszeitalter 2, Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. René Hantke, Ott Verlag Thun, 1980.
- Erläuterungen zum Geologischen Atlas der Schweiz, Blatt 22. Ed. Gerber, Kümmerly & Frey AG Bern, 1950.
- Geologie der Schweiz, Ein Lehrbuch für den Einstieg, und eine Auseinandersetzung mit den Experten. Prof. Dr. K. J. Hsü/ Dr. U. Briegel, Birkhäuser Verlag Basel, 1991.
- Geologie der Schweiz. Toni P. Labhart, Ott Verlag Thun, 1992.
- Kleine Geologie der Schweiz, Einführung in Bau und Werden der Schweizer Alpen. Dr. Martin Adolf Koenig, Ott Verlag Thun, 1978.
- Regionalmappe des mittleren Emmentals. Unterlagen zur Geographie aus dem Raum Burgdorf, Oberburg, Hasle, Rüegsau, Lützelflüh. Lehrergruppe der Region, 1989.
- Von der Landkarte zum 3D-Geländemodell, Anregung zum Einsatz des Computers im Geografieunterricht. Urs Schaufelberger, Berner Lehrmittel- und Medienverlag Bern, 1999.

Karten
- Atlas der Schweiz, Blatt 6, Die Schweiz zur letzten Eiszeit. Bundesamt für Landestopographie Wabern, 1970.
- Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 22, Fraubrunnen Hindelbank Wynigen Burgdorf, 1:25 000. Geographischer Verlag Bern, 1950.
- Landeskarte der Schweiz, Blatt 1147 Burgdorf, 1:25 000. Bundesamt für Landestopographie Wabern, 1994.
- Landeskarte der Schweiz, Blatt 233 Solothurn, 1:50 000. Bundesamt für Landestopographie Wabern, 1994.

Digitale Daten
- Digitale Höhendaten vom Bundesamt für Landestopographie Wabern. Ausschnitt aus dem Matrixmodell DHM25, Blatt 1147. Begrenzungskoordinaten: West 608 800, Süd 206 700, Ost 618 800, Nord 216 700. Zentrum der Daten: Gymnasium Burgdorf. Maschenweite 25 m, Fläche 100 km^2. Ergibt 160 801 Datenpunkte. Benutzungslizenz vom Bundesamt für Landestopographie, ausgestellt für das Gymnasium Burgdorf, 2000.

World Wide Web
- Informationsblatt zum Matrixmodell DHM25, im PDF-Format. Bundesamt für Landestopographie Wabern. Adresse: http://www.swisstopo.ch

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Burgdorf in der letzten Eiszeit. Erläuterungen zum Geologischen Atlas der Schweiz Blatt 22, Seite 63, Ed. Gerber, 1950.
Abb. 2 Grundmodell der Region Burgdorf. R. Wampfler, 2000.
Abb. 3 Simulation der Region Burgdorf zur letzten Eiszeit. R. Wampfler, 2000.
Abb. 4 Simulation des Gletschers während Vorstoss oder Rückzug. R. Wampfler, 2000.
Abb. 5 Simulation der Region, falls der Gletscher weiter vorgestossen wäre. R. Wampfler, 2000.
Abb. 6 Vergleich der Simulation mit dem Atlas der Schweiz. R. Wampfler, 2000.
Abb. 7 Sicht auf Burgdorf von den Gisnauflühen aus, 1917. Foto-Nachlass L. Bechstein im Burgerarchiv Burgdorf.
Abb. 8 Sicht auf Burgdorf vom Oberfeld aus, 1917. Foto-Nachlass L. Bechstein im Burgerarchiv Burgdorf.
Abb. 9 Findling bei der Kirche Kirchberg. R. Wampfler, 2000.
Abb.10 Drumlin in der Holzmühle. R. Wampfler, 2000.