

Die kleine Wasser- und Boden- Fibel

Version November 2015

Klaus Bohne • Isidor Storchenegger • Barbara Bohne

bb expression

INHALTSVERZEICHNIS

1	Vorbemerkung	5
2	Himmel und Erde, Klima und Boden	7
3	Auf dem Boden	17
4	Das Grundwasser	21
5	Flüsse und Bäche	27
6	Bewässerung	31
7	Entwässerung	43
8	Wasserbau	51
9	Kleine Bauwerke	59
10	Wasserversorgung von Siedlungen	67
11	Abwasserbehandlung, Pflanzenkläranlagen	73
12	Zum Schluss	75
13	Verzeichnisse	77

KAPITEL 1

VORBEMERKUNG

Dies ist eine kleine Hilfe zur ersten Orientierung für begeisterte Entwicklungshelfer, die keine Fachkenntnisse über Wetter, Wasser, Boden und Wasserläufe haben, aber in einem wenig entwickelten Land doch etwas Nützlichliches tun möchten. Um das Schlimmste zu verhindern, braucht man aber einige Kenntnisse, sonst entsteht vielleicht mehr Schaden als Nutzen. Ein Arzt sollte auch nicht nur Mitleid mit dem Patienten haben, sondern außerdem ein wenig von Medizin verstehen. Was hier steht, ist sehr stark vereinfacht. Es gibt in dieser Schrift keine Formeln und nur wenige Zahlen oder Fachausdrücke. Eigentlich ist alles viel, viel verwickelter. Aber das, was dann immer noch übrig bleibt, kann dazu beitragen, dass man vor Ort und im Ernstfall die Umwelt etwas besser versteht und eine Ahnung davon bekommt, was getan werden könnte und wie man es anstellen muss.

Die Autoren haben die Sorge, dass ein Leser nach der Durchsicht dieser Schrift der Täuschung anheim fallen könnte, er habe nun ausreichende Kenntnisse, um alle möglichen landeskulturellen Maßnahmen in großem Stil einzuleiten. Wer das denkt, wird dadurch für die Umwelt gefährlicher, als er im Zustand der naiven Unschuld war. Wenn man größere landeskulturelle Maßnahmen plant, muss man einen Fachmann für Landeskultur und Umweltschutz oder Kulturtechnik oder Wasserbau hinzuziehen. Immerhin gelingt das Gespräch mit ihm vielleicht besser, wenn man auch schon einige eigene Vorstellungen hat.

Über die Autoren

Dr. Klaus Bohne war, bevor er in den sog. Ruhestand trat, Professor für Bodenphysik und Geohydrologie an der Universität Rostock. Im dortigen Institut für Umweltingenieurwesen arbeitete auch Dipl.-Ing. Barbara Bohne. Prof. Dr. Storchenegger vertrat im gleichen Institut die Fächer Kulturtechnik und Gewässerregelung.

KAPITEL 2

HIMMEL UND ERDE, KLIMA UND BODEN

Der Regen und die Verdunstung

Zum Vergleich: In großen Teilen von Deutschland regnet es im Jahr 800 Liter je Quadratmeter, aber regional schwankt das zwischen 450 und 1200 l/m². Übrigens: Wenn man 1 Liter Wasser auf einem Tablett von 1 Quadratmeter Größe ausgießt, steht das Wasser 1 mm hoch in dem Tablett. Ein Millimeter Wasserhöhe ist also 1 Liter je Quadratmeter. Die Regenmenge ist in Deutschland auf viele kleine Regen über das Jahr verteilt – das ist sehr wichtig. Gewiss gibt es nasse und trockene Jahre, aber bisher war es noch nie so, dass es in einem Jahr gar nicht geregnet hat. In manchen Regionen kommt alles vor – von ganz seltenen, aber heftigen Regenfällen in Steppen bis zum täglichen Regen im tropischen Regenwald.

Wenn nicht zu viel Regen auf einmal fällt, und der Regen nicht zu heftig ist, dann kann das Regenwasser in den Boden eindringen. Dort bewegt es sich so langsam, dass nach vielen Tagen oder sogar Wochen der Regen immer noch spürbar ist. Ein Teil dieses Wasser sickert tiefer hinab und wird zum Grundwasser. Darüber reden wir später. Aber ein Teil wird wieder dampfförmig, verdunstet also – ein bisschen gleich von der nassen Pflanze oder von der Bodenoberfläche aus aber der größte Teil wird durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen, fließt in die Blätter und

von dort holt sich die Atmosphäre das Wasser zurück. Man nennt das Evapotranspiration, ein langes zusammen gesetztes Wort. Hier in dieser Schrift sagen wir einfach Verdunstung dazu. Das ist nicht ganz exakt, aber kürzer. Es ist wichtig zu verstehen, was viele Landwirte noch nicht verstanden haben, dass nämlich die Pflanzen das Wasser nicht absichtlich abgeben, sondern sie müssen es sich widerwillig wegnehmen lassen. Die Atmosphäre holt sich nämlich soviel, wie sie auf Grund der zur Verfügung stehenden Wärme aufnehmen kann. Jedenfalls versucht sie, diese Höchstmenge zu entziehen. Wenn es aber nur selten regnet, dann ist nicht so viel Wasser da, wie die Atmosphäre haben möchte. Dann trocknet der Boden aus und die Pflanzen müssen, um nicht zu verwelken, die Öffnungen an der Unterseite ihrer Blätter verschließen, damit nicht soviel Dampf entweicht – wie bei einem Topf mit Deckel. Die tatsächliche Evapotranspiration ist dann kleiner als die maximal mögliche – eine Tatsache, die für die gesamte Wasserbilanz auf der Erde ganz wichtig ist. Aber wie geht es der Pflanze dabei? Sie braucht eigentlich nur wenig Wasser, um ihre Nährstoffe von unten nach oben und andere Stoffe von oben nach unten zu transportieren. Aber um zu wachsen, braucht die Pflanze Kohlendioxid, das bekommt sie aus der Luft und dafür hat sie diese Öffnungen in den Blättern. Wenn diese Öffnungen nun verschlossen werden müssen, dann kann kein Kohlendioxid mehr herein kommen und die Pflanze kann nicht mehr wachsen. Es ist ein Unglück, dass durch eben dieselben Öffnungen auch der Dampf heraus geht. Man kann mit einem Trick die Pflanzen trotzdem wachsen lassen: Man baut ein Gewächshaus. Dort drinnen ist die Luft sehr feucht und kann kein Wasser mehr aufnehmen. Deshalb verlieren die Pflanzen kein Wasser, wenn sie ihre Spaltöffnungen aufsperrten und man erntet Unmengen von Gurken und Tomaten.

Der Abfluss auf und im Boden

Wie viel Wasser der Boden je Minute aufnehmen kann, hängt stark von der Bodenart ab. Und von der Regendauer. In den ersten paar Minuten geht nicht viel rein in den Boden, gleich bilden sich Pfützen. Dann kommt der Boden in Hochform und schluckt viel, aber nach einer halben oder ganzen Stunde wird es wieder weniger. Wenn es immer noch stark regnet, bilden sich Pfützen und das Wasser fließt oberirdisch ab, rein in den nächsten Graben oder im günstigsten Falle in eine Geländesenke. (Warum ist das so günstig? Weil es von da aus nur noch versickern kann und uns vielleicht zugute kommt). Wenn es z. B. zweimal im Jahr regnet,

aber dann sehr heftig, dann kann der Boden das Wasser nicht so schnell aufnehmen und das meiste fließt oberirdisch ab – das gibt dann eine Hochwasserwelle im nächstgelegenen Fluss. Hinterher ist der Boden bald wieder trocken und es kann nichts mehr verdunsten, weil kein Wasser mehr da ist. Kakteen können sich beim Regen schnell voll saugen wie ein Schwamm. Wenn man das Wasser auch nur eine kurze Zeit aufhalten könnte, hätte es genug Zeit, in den Boden einzudringen und könnte später ganz langsam von Pflanzen genutzt werden. Das ist die gute Wirkung von Wald – durch Unterholz und altes Laub wird der Wasserfluss verlangsamt. Auch das Mulchen kann dazu beitragen. Ebenso wirken Furchen und Steinwälle und alles, was den Abfluss jedenfalls etwas verlangsamt. In Bezug auf den Wasserverbrauch ist der Wald in trockenen Gebieten übrigens ein Übeltäter – das ausgedehnte Wurzelwerk findet noch Wasser, wenn andere Pflanzen schon Mangel haben und es verdunstet also sehr viel. Warum ist das schlecht? Wenn viel verdunstet, bleibt wenig übrig für die Menschen.

Der Abfluss des Regenwassers auf der Bodenoberfläche ist in jeder Hinsicht gefährlich:

1. Das Wasser geht den Pflanzen verloren.
2. Im Fluss wird ein Hochwasser erzeugt, das Schäden anrichten kann.
3. Die Wasserströmung auf dem Boden reißt Erdstoffpartikel und daran angelagerte Dünger, Herbizide, Fungizide und Pestizide mit sich. Der Erdstoff-Abtrag bzw. die Erosion erzeugt oft tiefe Furchen und Einschnitte auf der Entstehungsfläche und Kontamination in den Oberflächengewässern.
4. Durch den Bodenabtrag (Erosion) wird besonders der obere Teil des Bodens abgetragen, der Humus enthält und für die Pflanzen wichtig ist. Die Böden sind also nach der Erosion weniger ertragsfähig als vorher.
5. Im Gebirge wird durch Erosion oft alles lockere Material, in dem Pflanzen wurzeln können, abgetragen. Auf dem nackten Felsen fließt das Wasser dann noch viel schneller ab und es können keine Pflanzen mehr wachsen – besonders dann nicht, wenn jedes kleine Pflänzchen von Ziegen abgefressen wird.

Das Bild 2.1 zeigt den Wasserkreislauf. Von unserem Planeten geht kein Wasser verloren, aber es kommt auch nichts hinzu. Es kann aber salzig werden – wir kommen noch darauf.

2 Himmel und Erde, Klima und Boden

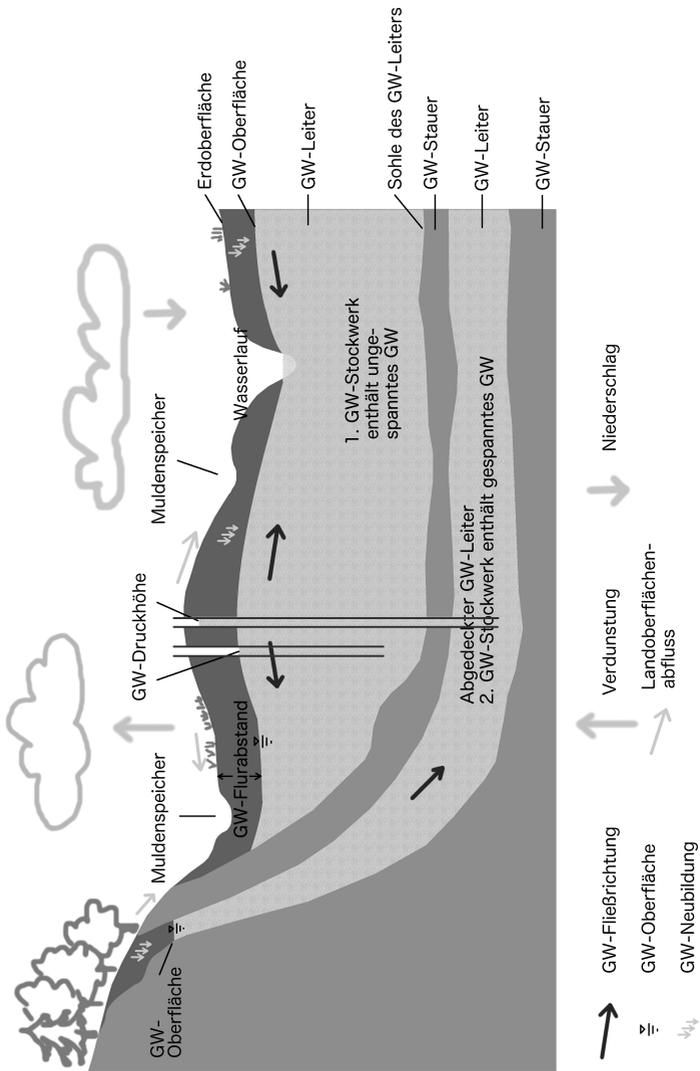


Bild 2.1: Wasserkreislauf

Was für ein Klima haben wir denn?

In Nordeuropa und Teilen von Nordamerika ist die jährliche Niederschlagsmenge (Regen oder Schnee) größer als die Höchstmenge der jährlichen Verdunstung. Diese Gegenden sind sehr feucht („humid“), d. h. es gibt im langjährigen Durchschnitt immer einen Regenüberschuss, der in den Flüssen abgeführt wird. Die westlichen und südwestlichen Teile von Deutschland sind humide Gebiete. In den östlichen Gebieten von Deutschland und in Polen fällt weniger Regen als der Höchstmenge der Verdunstung entspricht, es gibt also keinen Regenüberschuss, aber die Bilanz aus Regen und Verdunstung ist beinahe ausgeglichen. Wir sagen „semi-humid“ dazu. Warum fließt dann trotzdem in den Flüssen Weichsel, Elbe, Oder und Spree immer noch Wasser ab? Weil das Land im Sommer trocken wird. Dann wird, wie oben erklärt, die Evapotranspiration gegenüber der Höchstmenge eingeschränkt, so dass immer noch etwas für den Abfluss übrig bleibt. Um eine ganz grobe Zahl zu nennen: Im Tiefland Deutschlands verdunsten in tief gelegenen Feuchtgebieten pro Jahr 550 bis 700 Liter je Quadratmeter und es regnet 600–800 Liter je Quadratmeter. Auf den trockenen Ackerflächen in Sachsen-Anhalt regnet es nur 450 bis 500 Liter je Quadratmeter. Wie ist es dann in trockenen tropischen Gebieten? Dort regnet es z. B. Null bis 400 mm im Jahr, die maximal mögliche Verdunstung wäre aber (auf Grund des heißen Klimas) einige Tausend Liter je Quadratmeter. Ein solches Gebiet heißt arid. Die hohe Verdunstung ist ein theoretischer Wert, in Wirklichkeit kann die tatsächliche Verdunstung höchstens so groß wie die Regenmenge sein, denn mehr Wasser ist ja nicht da. Weil aber der Regen dort oft als Starkregen niedergeht und dann zum Teil schnell abfließt, ist die tatsächliche Verdunstung meistens noch kleiner als die Regenmenge. Das bedeutet: Auch dort bleibt Wasser für den Abfluss übrig. Ein trockenes Flussbett wird plötzlich zu einem reißenden Strom und etwas Wasser versickert auch in die Tiefe. Was passiert aber, wenn in einem ariden Gebiet (= Höchstmenge der Verdunstung größer als Regenmenge) der Regen im Jahr ziemlich gut verteilt ist und/oder die Böden das Wasser gut speichern können? Dann wird dort kein Grundwasser gebildet und es gibt nur wenige Flüsse, die oft trocken sind, aber die Böden sind noch mäßig feucht. Dort gedeihen oft die herrlichsten Bäume, Pfirsiche zum Beispiel, Nüsse und Wein, Olivenbäume und Lavendel. In Europa trifft man das z. B. in der Toscana an oder in der Provence und in Amerika in Georgia und beiden Carolinas.

Afrika

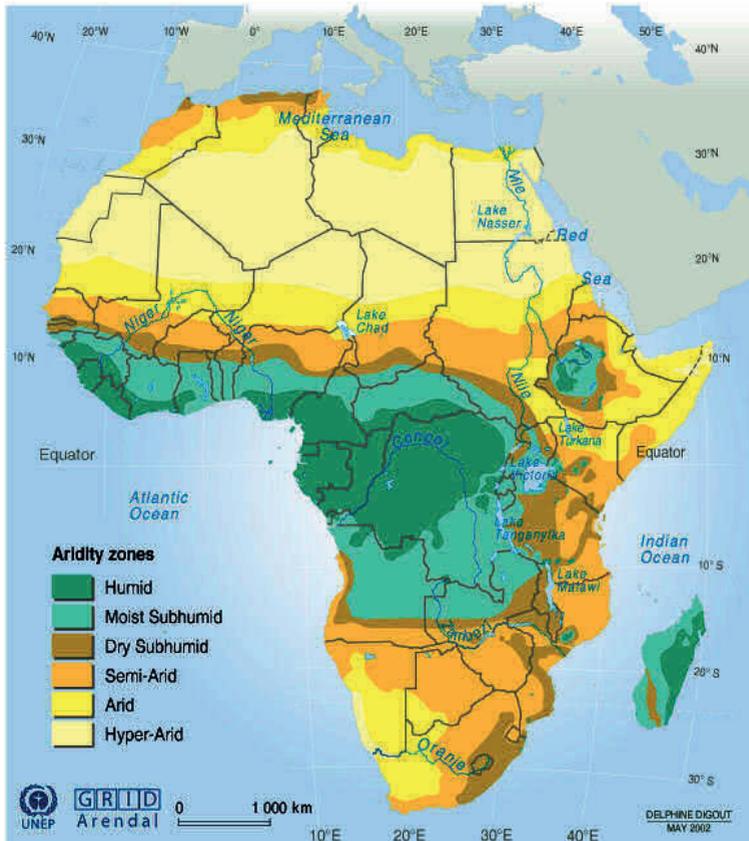
In Afrika gibt es Klimazonen, die das Bild 2.2 zeigt. Das Schwierigste am Klima von Afrika ist die Ungleichmäßigkeit des Regens. Es kommt vor, dass ein Jahr oder sogar mehrere Jahre der Regen ausbleibt und dann plötzlich eine Riesenmenge Regen auf einmal fällt. Ein solches Klima erfordert gute Vorsorge: Man muss Wasser speichern, wenn es angeboten wird und dazu muss man leere Speicherräume haben, wenn es ein Hochwasser gibt. Aber da man Wasser nicht gut über viele Jahre speichern kann, muss man in den guten Jahren Getreidevorräte anlegen und die Bewohner müssten sich eigentlich darauf vorbereiten, in extrem trockenen Jahren vorübergehend in eine andere Region zu ziehen.

Desertifikation In Teilen von Afrika ändern sich Landschaften so, dass sie einer Wüste immer ähnlicher werden. Das liegt zum Teil an der globalen Klimaveränderung, aber zum Teil auch am falschen Verhalten der Menschen. Wenn es trockener wird und man trotzdem versucht, so viel Vieh zu halten wie früher, dann kommt es zur Überweidung und das fördert den Rückgang der Vegetation. Weniger Vegetation bedeutet aber mehr Oberflächenabfluss, also mehr Erosion und weniger Infiltration, also noch mehr Erosion. Ein Kreislauf, der sich selbst verstärkt.

Was ist „Boden“?

Der Boden besteht in der Hauptsache aus Körnchen verschiedener Größe. Sand hat viele Körner von 2 bis 1/10 mm Durchmesser und Ton („clay“) hat reichlich Körner, die kleiner als 0.002 mm sind. Wenn die Körner noch größer als 2 mm sind, spricht man von Kies, „gravel“. Die Eigenschaften dieser Korngemische sind total verschieden. Wenn reiner Sandboden trocken ist, dann wird er ganz locker – so wie am Badestrand oft. In mäßig feuchtem Zustand ist er dagegen ziemlich fest, man kann gut darauf laufen oder fahren. Bei Ton ist es genau umgekehrt: In trockenem Zustand wird er steinhart und schrumpft so zusammen, dass er Trockenrisse bekommt. In nassem Zustand ist Tonboden weich, plastisch, klebrig und schmierig, eine Paste. Man kann kaum drauf laufen, so glatt wird er. Als Lehm bezeichnet man Böden, deren Korngrößenverteilung aus einer Mischung von Sand und Ton und Material von dazwischen liegender Feinheit besteht. Weil diese Bodenarten so verschieden sind,

Aridity Zones



Source: World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Bild 2.2: Afrika – Klimazonen

möchte man oft wissen, was für einen Boden man vor sich hat. Dazu nimmt man eine Menge in die Hand, befeuchtet sie (falls sie trocken ist) und versucht, mit beiden Händen daraus Rollen zu formen. Beim Sand gelingt das nicht – die Rollen zerbröckeln sogleich. Reiner Sand haftet nicht an der Haut, man macht sich die Hand nicht schmutzig. Aber Ton kann man zwischen den Händen zu langen dünnen Walzen ausrollen. Die Schmiere kann man nur mit Wasser wieder von der Hand abwaschen. Natürlich gibt es zwischen diesen Extremen viele Übergänge, davon verstehen die Bodenkundler eine Menge. Alle Böden, die sich in feuchtem Zustand dünn ausrollen lassen, heißen „bindige“ Böden, weil sie sich klebrig anfühlen. Aber Achtung: Die Klebrigkeit verschwindet, wenn der Boden so nass ist, dass er wie ein Brei wird; er hat dann die Fließgrenze überschritten.

Das Wasser im Boden und die Pflanzen

In vielen Böden fließt das Wasser so langsam, dass es aussieht, als würde das Wasser gespeichert werden. In Sandböden versickert es aber doch innerhalb von 1 bis 3 Tagen und das bedeutet, dass es für die Pflanzen verloren geht. Sandböden lassen also das Wasser schnell nach unten abfließen, Tonböden dagegen sehr sehr langsam. Demnach haben die Pflanzen auf den Tonböden mehr Wasser zur Verfügung? Leider nein, denn dort fließt das Wasser zwar nicht ab, aber es wird im Boden so stark festgehalten, dass die Pflanzen es nicht nutzen können – sie welken bei feuchtem Boden. Es gibt in jedem Boden eine gewisse Menge Wasser, die vor allem durch Kapillarkräfte so fest gebunden wird, so dass sie nicht pflanzenaufnehmbar ist, aber in den tonreichen Böden ist das sehr viel. Die Menge, die den Pflanzen zur Verfügung steht, – also nicht zu schnell versickert und auch nicht zu sehr festgehalten word – ist bei den „mittleren“ Böden am größten, also bei den Lehm- und Schluffböden. (Schluff fühlt sich so ähnlich an wie Mehl). Damit also ein tonreicher Boden genug Wasser für die Pflanzen hat, muss er sehr nass sein. Aber da sind gleich noch zwei weitere Schwierigkeiten. Die meisten Pflanzenwurzeln – jedenfalls jene der Kulturpflanzen – brauchen zum Atmen wie alle anderen Lebewesen Luft. Wenn aber nun die Poren im Boden ganz voll Wasser sind, dann ist kein Platz mehr für Luft übrig. Das bedeutet, dass diese Pflanzenwurzeln nach einigen Tagen nicht mehr funktionieren – sie nehmen kein Wasser und keine Nährstoffe mehr auf, die Pflanze wächst nicht mehr – wegen des Luftmangels. Die andere Schwierigkeit: Wenn tonreiche Böden nass sind, sind sie schmierig, klebrig, plastisch

verformbar. Wenn man auf so einem Boden läuft, klebt immer mehr Boden an den Schuhen und man kann leicht ausrutschen. Traktoren bleiben stecken und Menschen fallen hin. Außerdem werden die Poren im Boden zugequetscht. Das kann nicht leicht wieder rückgängig gemacht werden. Grundsätzlich sollte man einen Boden nicht bearbeiten, solange er klebrig ist.

Sandböden haben diese Schwierigkeiten nicht, aber sie halten das Wasser nicht fest. Wenn man sie bewässert, muss man beinahe jeden Tag ein bisschen wässern. Wenn man das gut dosiert – bei heißem Wetter 4 bis 10 Liter je Quadratmeter und Tag – dann kann auch auf Sandböden viel wachsen. Aber gewöhnlich wird entweder gar kein Wasser gegeben oder zu viel und dann fließt in Sandböden das Wasser nach unten ab. Mit dem nach unten abfließenden Wasser werden natürlich auch die im Boden enthaltenen oder durch die Düngung aufgebrauchten Pflanzennährstoffe nach unten ausgewaschen und sind damit nicht nur verloren, sondern richten anderswo (im Grundwasser, im Graben, im Fluss) sogar noch Schaden an. Man sieht daraus, dass Bodenarten in der Mitte zwischen Sand und Ton für das Pflanzenwachstum am besten geeignet sind.

Die Pflanzennährstoffe und die organische Substanz im Boden

Pflanzen ernähren sich von Sonnenlicht, vom Kohlendioxid-Gas der Luft und von den Mineralstoffen im Boden. Die Mineralstoffe können nur aufgenommen werden, wenn sie in Wasser gelöst sind. Von den chemischen Elementen Stickstoff, Phosphor und Kalium braucht jede Pflanze viel. Daneben brauchen die meisten Pflanzen noch kleine Mengen an vielen anderen Stoffen.

Die organische Bodensubstanz ist die Substanz der lebenden und der toten Pflanzen, Bakterien und Tiere. Durch die Wurzeln der Pflanzen, die schon abgeerntet oder abgestorben sind, entsteht dauernd organische Substanz in Boden. Alle möglichen Bakterien und im Boden lebende Tiere machen sich darüber her, zerkleinern, zersetzen und verbrennen diese organische Substanz. Die darin enthaltenen mineralischen Nährstoffe kommen den gerade wachsenden Pflanzen zugute. Wie viel organische Substanz also gerade im Moment vorhanden ist, wird vom Gleichgewicht zwischen Zufuhr und Abbau bestimmt. Besonders in den feuchten Tropen gibt es einen schnellen Umschlag, aber der augenblickliche Gehalt

im Boden ist gering. Umgekehrt gibt klimatische Bedingungen, wo der Abbau der organischen Substanz dauernd irgendwodurch gehemmt wird – durch Trockenheit in Sommer oder durch Kälte im Winter oder durch Luftmangel in Nassgebieten, z. B. in Mooren. Wie bei jeder Verbrennung wird auch im Boden Sauerstoff verbraucht (der muss aus der Luft kommen) und Rauch, d. h. Kohlendioxid bleibt übrig. Wenn nun eine Wiese umgepflügt wird oder ein Wald gerodet wird, dann stirbt plötzlich eine große Menge von lebendiger Substanz und sehr viel abgestorbene organische Substanz wird verbrannt. Das ist nicht gut, weil plötzlich sehr viel Kohlendioxid-Gas an die Luft abgegeben wird. Das ist auch deshalb nicht gut, weil die große Menge der frei werdenden Mineralstoffe nicht so schnell von Pflanzen aufgenommen werden kann und also vom Regen ausgewaschen wird, in den nächsten Fluss gelangt und dort zum übermäßigen Wachstum der im Wasser lebenden Pflanzen führt. Ein bis zwei Jahre nach solcher Rodung ist der Boden sehr fruchtbar, aber danach ist er unfruchtbarer als vor der Rodung. Ein umweltschonender Pflanzenbau ist dadurch gekennzeichnet, dass nicht mehr Nährstoffe durch Dünger verabreicht werden, als die Pflanzen dem Boden entziehen. Da man den Ertrag und damit auch den Nährstoffentzug zum Zeitpunkt der Düngung noch nicht kennt, muss man sich auf Richtwerte verlassen. Umweltschonend ist weiterhin ein Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung, also auf das Pflügen. Man kann versuchen, den Boden für die neue Saat aufzureißen und etwas zu lockern (durch Eggen verschiedener Art, Fräsen und Spatenmaschinen), ohne zu pflügen. Chemische Mittel zur Unkraut- und Schädlingsbekämpfung belasten die Umwelt und auch die Ernteprodukte, aber dennoch sind sie nicht immer ganz zu vermeiden. Es gibt einige Anbaumethoden, durch die das Auftreten von Schädlingen in Grenzen gehalten wird.

KAPITEL 3

AUF DEM BODEN

Auf der Bodenoberfläche laufen oder fahren wir herum, stehen unsere Häuser und wachsen die Pflanzen, von denen wir uns ernähren möchten. Aber diese Bodenoberfläche ist unglaublich empfindlich und der Boden kann unbeabsichtigt seine guten Eigenschaften verlieren.

Insbesondere in den Industrienationen, wo schwere landwirtschaftliche Maschinen verwendet werden, wird der Boden oft unnatürlich stark verdichtet und zudem wird die Bodenoberfläche von bindigen Böden verschmiert. Dadurch kann das Regenwasser nicht mehr so leicht in den Boden infiltrieren – es wird also Pfützen bilden oder oberflächlich abfließen. Nur mit großem Aufwand können diese Schäden wieder beseitigt werden.

Wenn in der Landwirtschaft große Maschinen verwendet werden, ist die Verlockung gegeben, Bäume, Büsche und Hecken als Hindernisse zu betrachten und sie zu beseitigen. Dadurch entstehen große Flächen, auf denen man bequem fahren kann, auf denen aber auch der Wind viel stärker bläst als in einer gegliederten Landschaft. Wenn die landwirtschaftliche Praxis dann außerdem dazu führt, dass der Boden im Frühjahr einige Wochen keine geschlossene Pflanzendecke trägt, besteht die Gefahr, dass der Wind riesige Erdstoffmengen verfrachtet – es kommt zur Winderosion. Dazu muss man wissen, dass eine unbewachsene Bodenoberfläche schon nach wenigen regenfreien Tagen trocken ist und damit

3 Auf dem Boden

die Körner von sandigen Böden ihren Zusammenhalt verlieren. Das hat im amerikanischen Mittelwesten zu Katastrophen geführt: Viele Bauern haben nichts mehr geerntet und mussten ihre Betriebe aufgeben. Man sollte also dafür sorgen, dass die Bodenoberfläche niemals ganz unbedeckt ist und die Landschaft nicht aller Gehölze entblößt wird. Neben der Winderosion hat jedoch die Wassererosion die größte Bedeutung.

Bodenerosion durch Wasser Durch den Impuls der Regentropfen oder die Schleppkraft von Wasser, das auf der Bodenoberfläche fließt, wird Erdstoff abtransportiert. Dieser Vorgang heißt Bodenerosion und hat in einigen Ländern schon einen großen Teil der landwirtschaftlichen Nutzflächen vernichtet. Bodenerosion durch Wasser droht besonders dann, wenn das Gelände geneigt ist, wenn auf felsigem Untergrund nur eine dünne lockere Auflage vorhanden ist und wenn die Bodenoberfläche im Moment des Regens nicht durch Pflanzen oder durch Pflanzenteile aus der vorigen Ernte bedeckt ist. Einige dieser Übeltäter sind nicht beeinflussbar: Wasser wird in steilem Gelände schnell fließen und ein intensiver Starkregen wird eventuell zum Oberflächenabfluss führen. Neben dem Geländegefälle ist auch die Hanglänge von Einfluss: Je länger der Hang, desto größer die Erosionsgefahr.

Die Wassererosion tritt oft flächenhaft auf und führt zu einem Verlust gerade des wertvollen oberen Bodenhorizontes. Sie kann sich aber auch auf Furchen oder Rinnen konzentrieren und erzeugt dann oft mehrere Meter tiefe Schluchten. Dadurch geht nicht nur landwirtschaftlich nutzbare Fläche verloren, sondern auch das verursachende Wasser fließt ungenutzt ab und richtet weiter unterhalb Hochwasserschäden an. Dies ist eine sehr zerstörerische Form der Wassererosion.

Was kann man unternehmen, um die Bodenerosion einzudämmen? Dazu muss man sich zunächst vergegenwärtigen, dass Bodenerosion zwar auch in naturbelassenen Landschaften vorhanden ist, dass sie aber dort sehr gering ist. Die verhängnisvolle Beschleunigung der Erosion tritt erst durch die landwirtschaftliche Nutzung ein. Also sollte es möglich sein, Pflanzen so anzubauen, dass die Erosion klein gehalten wird. Dies kann z. B. dadurch geschehen, dass die Pflanzreihen entlang der Höhenlinien (contour lines) angelegt werden. Man legt die Reihe also so an, dass entlang der Pflanzreihe keine Geländeneigung vorhanden ist. Man kann nach dem Augenmaß ziemlich genau sehen, in welcher Richtung des Gefälle am stärksten ist. Die Höhenlinien verlaufen immer senkrecht zum größten Gefälle. Wenn das Pflanzen in contour lines nicht genügt, kann man Reihen aus Pflanzen einrichten, die nicht geerntet werden,

sondern mit ihren Stengeln und Blättern den Wasserabfluss bremsen und mit ihren Wurzeln den Boden festhalten. Hierfür hat sich besonders das Veviter Gras bewährt. Die Nutzpflanzenreihen stehen dann zwischen den Reihen mit Veviter Gras. Zusätzlich können – immer senkrecht zum größten Gefälle – Furchen gepflügt werden, die das abfließende Wasser vorübergehend aufhalten und aufnehmen. Während ohne solche Furchen das Wasser hangabwärts immer schneller fließt, wird es durch die Furchen angehalten. Natürlich läuft die Furche nach kurzer Zeit über, aber das überlaufende Wasser fließt auf den ersten Metern noch relativ langsam – es hat nämlich durch die Wirbel in der vollen Furche einen Teil seiner Geschwindigkeit verloren – und trifft dann schon auf die nächste Furche. Die Furchen sind besonders bei starker Geländeneigung wirksam. Bei geringerer Geländeneigung haben sich Steinwälle bewährt Bild 3.1. Durch Steinwälle entlang der Höhenlinien kann der Abfluss des Regenwassers so weit verlangsamt werden, dass ein großer Teil des Wassers in den Boden infiltrieren kann. Man benötigt je Hektar etwa 30 bis 50 Tonnen Steine, um im Abstand von 25–40 Metern Steinwälle von mindestens 0.5 m Höhe aufzuschichten. Durch die Verlangsamung der Wasserbewegung fallen mitgeschwemmte Stoffe aus der Strömung heraus und werden ebenfalls zurück gehalten. Die Bauern in Burkina Faso/Westafrika haben mit solchen Steinwällen gute Erfahrungen gemacht.

Oberflächenabfluss und damit Erosion entsteht dann, wenn es heftig regnet. Der Boden kann zwar viel Wasser aufnehmen, aber nicht so schnell. Deshalb sind alle Maßnahmen gut, die den Wasserfluss verlangsamen und damit die Aufenthaltsdauer des Wasser auf dem Boden vergrößern. In jeder Sekunde, in der das Wasser auf der Bodenoberfläche verweilt, nimmt der Boden etwas Wasser auf, das dann unter der Bodenoberfläche nur ganz langsam fließt und von Pflanzen genutzt werden kann.

3 Auf dem Boden



Bild 3.1: Bau eines Steinwalles zur Verminderung der Erosion

KAPITEL 4

DAS GRUNDWASSER

Die obere Schicht der festen Erdkruste besteht zwar manchmal aus Felsen, aber oft aus lockerem, verwittertem Material, dem Boden. Darunter sind oft eine oder mehrere Schichten, die nicht verwittert sind. Das können Festgesteine sein, Felsen, in deren Klüften dann oft Wasser vorhanden ist. Das können aber auch Lockergesteine sein, also Sand, Kies (noch größere Körner als Sand) oder Geröll. Solche Schichten heißen Grundwasserleiter („aquifer“). Wenn dort Wasser vorhanden ist, das allein der Schwerkraft folgend die Hohlräume zusammenhängend ausfüllt, dann nennt man das Grundwasser. Es kommen aber auch Tonschichten oder kompakte Felsen vor, durch die fast kein Wasser fließen kann, das sind Sperrschichten oder Stauer, siehe Bild 2.1. Es gibt Grundwasserleiter, in denen sehr viel Wasser über Jahrhunderte hinweg gespeichert ist. Diese Grundwasserleiter sind sehr mächtig bzw. dick. Man kann also für eine gewisse Zeit mehr Wasser entnehmen, als neu gebildet wird. Das ist dann aber keine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwasserleiters. Man merkt das daran, dass der Grundwasserspiegel langsam absinkt, also die Tiefe bis zum Grundwasserspiegel im Laufe von mehreren Jahren zunimmt. Wichtig ist also: In Grundwasserleitern sind oft sehr große Wassermengen gespeichert, und dieses Wasser steht gewöhnlich nicht still, sondern es fließt, aber sein Fließen ist sehr langsam (siehe Bild 4.1). Genau wie bei Oberflächengewässern gibt es auch im Grundwasser Wasserscheiden, also Linien, von wo aus das Wasser in verschiedene



Bild 4.2: Oberirdische und unterirdische Wasserscheide

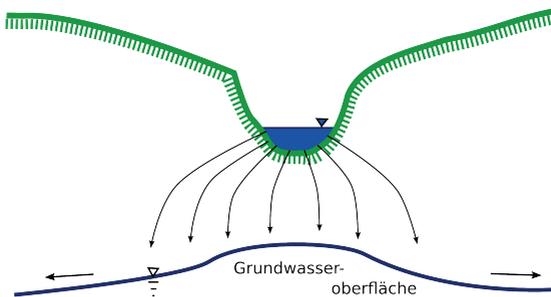


Bild 4.3: Seihwasserbildung

in dem sich Eiswürfel befinden. (Es kann auch Whisky sein!) Schon mit wenig Flüssigkeit wird das Glas voll!

Wie benimmt sich Grundwasser?

Das Grundwasser steht nicht still, sondern ist immer in irgendeiner langsamen Fließbewegung. Es fließt dorthin, wo der Grundwasserspiegel etwas niedriger steht. Ohne geodätische oder andere Instrumente kann man die Fließrichtung nicht genau feststellen. Aber wenn das Gelände z. B. ein Abhang ist, dann wird die Fließrichtung des Grundwassers wahrscheinlich dem Gelände ungefähr folgen. Wenn das Grundwasser aber flacher geneigt ist, als das Gelände, dann wird das Grundwasser irgendwo aus der Erde austreten – das ist dann eine Quelle, genauer gesagt eine Schichtquelle. In Geländemulden gibt es auch Überlaufquellen. Sollte etwa eine Karte vorhanden sein, die Linien gleichen Grundwasserstandes („Grundwasserisohypsen“, „water table contour lines“) zeigt, dann ist das eine sehr wertvolle Information. Der Grundwasserstand ist die Höhe der Grundwasseroberfläche relativ zu einem Bezugspunkt, am besten relativ zum Vermessungsnetz des Landes. Man kann aus einer solchen Karte die Fließrichtung des Grundwassers ablesen: Es fließt nämlich nicht nur abwärts, sondern in jedem Punkt senkrecht zu den contour lines. Das Grundwasser fließt gewöhnlich den Flüssen und Seen zu – manchmal fließt aber auch Wasser aus einem Fluss in den Grundwasserleiter. Mit etwas Übung kann man auch das aus solchen Karten entnehmen, wenn man daran denkt, dass der Wasserspiegel in einem See ungefähr horizontal ist, also überall die gleiche Höhe hat.

Wenn das Gelände so gestaltet ist wie auf Bild 2.1 – und das kommt sehr oft vor – dann fließt das Grundwasser vom Gebirge kommend ins Tal, gerät aber dabei zwischen zwei Sperrschichten, eine Sohle und eine Deckschicht, und in diesem gespannten („confined“) Grundwasserleiter kann ein hoher Wasserdruck entstehen, wie man aus dem Bild erkennt. Über der Deckschicht kann dann wieder ein ungespannter Grundwasserleiter vorhanden sein. Eine solche Anordnung heißt Grundwasserstockwerk. Sie kommt häufig vor. Der Druck im gespannten Grundwasserleiter kann so groß sein, dass das Wasser, wenn man eine Bohrung durch die Deckschicht anbringt, an der Oberfläche „artesisch“ austritt. Wenn man darauf vorbereitet ist und Wasser gewinnen möchte, ist das ein Glücksfall. Aber es kann schwierig sein, die Bohrung wieder abzudichten, so dass man eine Geländesenke leicht in einen Teich verwandeln kann. Pech, wenn

da auch noch Häuser stehen. Das Wasser aus dem zweiten Stockwerk ist oft noch von besserer Qualität, als das Wasser im ersten Stockwerk.

Unter natürlichen Bedingungen ist das Grundwasser sehr sauber. Sogar dann, wenn ständig mehr gedüngt wird, als Pflanzen aufnehmen, ist die Güte des Grundwassers oft noch recht gut, weil viele dieser Stoffe (eine gewisse Zeit) im Grundwasserleiter unschädlich gemacht werden. Wenn aber Abwässer aus Chemiefabriken oder aus Abfallgruben in Teiche geleitet werden und das Wasser von dort aus versickert, dann kann das Grundwasser vergiftet werden.

In der Nähe zur Küste kann es passieren, dass Salzwasser in den Grundwasserleiter eindringt. („Salzwasserintrusion“). Das wird begünstigt, wenn in der Nähe der Küste viel Grundwasser entnommen wird und dadurch der Grundwasserspiegel sinkt. Das Salzwasser beginnt in einer Tiefe, die dem Vierzigfachen der Höhe des Grundwasserspiegels über dem Meeresniveau entspricht (Bild 4.4).

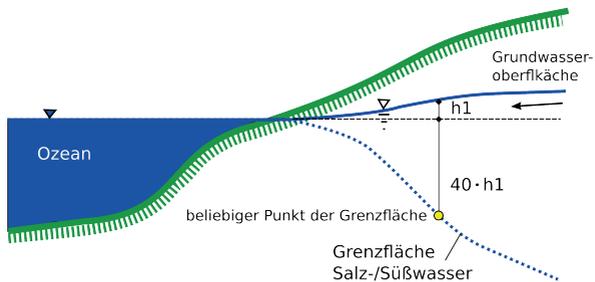


Bild 4.4: Grenzfläche Süßwasser-Salzwasser

KAPITEL 5

FLÜSSE UND BÄCHE

Wie funktioniert ein Fluss? Aus einem höher gelegenen Gelände fließt Wasser in den Fluss oder in den See. Gewöhnlich bilden sich zuerst kleine Bäche, die irgendwo zusammen fließen. Wenn es eine Weile nicht geregnet hat und der Fluss ruhig und gleichmäßig strömt, stammt sein Wasser aus dem unterirdischen Zufluss, also aus dem Grundwasser. Die Größe dieser Fläche, die das Gewässer speist, heißt Einzugsgebiet („catchment area“). Die Grenze des Einzugsgebietes ist eine oberirdische bzw. unterirdische Wasserscheide („water divide“ bzw. „phreatic divide“). Das oberirdische Einzugsgebiet kann man grob ausgrenzen, wenn man eine Landkarte mit Höhenlinien hat. Das unterirdische Einzugsgebiet ist meistens unbekannt. Durch den Zustrom aus dem Einzugsgebiet, dem Abfluss („runoff“) bildet sich im Fluss ein Durchfluss („discharge“) und es entsteht eine Wassertiefe. Wie groß die beiden sind, hängt davon ab, wie viel Wasser zufließt, wie groß die Querschnittsfläche des Flusses ist, welches Gefälle er hat und was es für Abflusshindernisse gibt – eine komplizierte Sache. Ein Beispiel: In der Elbe bei Dresden fließen im Mittel etwas mehr als 300 m^3 je Sekunde ab, bei einem gewöhnlichen Hochwasser sind es schon mehr als 1000 und im Extremfall waren es schon einmal beinahe 2000 m^3 je Sekunde. Das ist also sehr viel Wasser und die Schwankungen sind auch sehr groß. Der Rio Grande an der Grenze zwischen Mexiko und Texas ist oftmals trocken, man kann dann auf der Sohle spazieren gehen, aber manchmal fließen mehr als 5600 m^3

je Sekunde ab, das ist dann von heute auf morgen ein Fluss von 200 m Breite und 10 m Wassertiefe, der gelegentlich auch Stühle und Tische, Betten und Schränke mit sich führt. Wenn ein Fluss durch einen See fließt, dann wird der Durchfluss ausgeglichener und schwankt nicht mehr so schnell und so heftig. Sehr ungleichmäßig ist auch die Wasserführung von Bächen, die aus dem Gebirge kommen, deren Hochwasser auch Gestein und Holz mit sich führen kann.

Wenn man ganz grob überschlagen will, wie viel Wasser gerade in einem Fluss durchfließt, wirft man ein Stück Papier oder ein Blatt in den Fluss – nicht zu dicht am Ufer, aber auch nicht ganz in der Mitte – und beobachtet, wie schnell es fließt. Nun schätzt man die Breite des Flusses und die Wassertiefe. Mit vielen Vereinfachungen geht die Rechnung so wie in dem nachfolgenden Beispiel: Wassererfüllte Fläche = Breite mal Wassertiefe mal eins, wenn die wassererfüllte Fläche ungefähr ein Rechteck ist oder mal 0,5, wenn der Fluss in der Mitte viel tiefer ist (Dreiecksfläche). Geschwindigkeit des Papierfetzens: z. B. 1,5 m je Sekunde. Den Durchfluss erhält man dann aus Fläche mal Geschwindigkeit, zum Beispiel 20 m^2 mal $1,5 \text{ m/s} = 30 \text{ m}^3$ je Sekunde.

Wenn bei einem starken Regen Oberflächenwasser in den Fluss gelangt, trägt es gewöhnlich Bodenmaterial mit sich, das den Fluss meistens gelb färbt. Aber auch dann, wenn es nicht regnet, wird mit dem fließenden Wasser Erdstoff aus der Sohle und der Böschung des Flusses abtransportiert – je schneller das Wasser fließt und je erosions-anfälliger das Einzugsgebiet ist, desto mehr und desto größere Körner werden mitgerissen. Diese können sich in Strecken mit kleinerer Fließgeschwindigkeit wieder absetzen. Der Fluss ändert dadurch seine Breite, Tiefe, die Gestalt seines Querschnittes, und dann oft auch seinen Lauf.

Unter natürlichen Bedingungen werden gewöhnlich ein oder mehrere immer wiederkehrende Zustände erreicht. Nach Eingriffen in den Fluss, z. B. durch Begradigung oder Stauanlagen, ändert sich oft der Flusslauf in einer schwer vorhersagbaren Weise. Wenn z. B. der Fluss durch Deiche eingefasst wird, wird sein Hochwasser höher ausfallen als vor der Eindeichung, das Wasser wird schneller fließen und damit wird sich die Fluss-Sohle eintiefen. Wenn der Fluss begradigt wird, wird seine Fließlänge kleiner, aber da der Höhenunterschied so bleibt, wie er war, wird das Gefälle – das ist das Verhältnis der Höhendifferenz zur Fließstrecke – größer werden, das Wasser wird also schneller fließen und damit mehr und größere Körner transportieren. Das kann dazu führen, dass Böschungen, die bislang stabil waren, ausgespült werden. Man ersieht hieraus, dass Eingriffe in Flüsse unerwartete Wirkungen haben können und am

besten von erfahrenen Fachleuten des Wasserbaus geplant werden sollten. Zwischen dem Abfluss, der Gewässersohle und dem Ufer bestehen also vielfältige Wechselwirkungen und diese führen zu der Form, die der Fluss im Laufe der Zeit angenommen hat.

Ein Fluss ist ein Lebensraum für viele Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere. Flüsse, die technisch stark überformt sind, also begradigt sind, einen regelmäßigen Querschnitt haben und die so reguliert sind, dass der Durchfluss nicht so stark schwankt, sind ökologisch ungünstiger als natürliche Gewässer. Jedes Gewässer hat ein natürliches Selbstreinigungsvermögen. Wenn es überfordert wird, reichern sich tote und lebende Organismen im Gewässer an. Die Zersetzung dieser organischen Substanz kann zur Sauerstoffknappheit im Gewässer führen, so dass im Extremfall Fäulnis einsetzt.

Der Fluss in der Landschaft

Im vorigen Abschnitt haben wir auf die Vorgänge geschaut, die sich im Fluss abspielen. Das ist wichtig, aber doch nur die halbe Wahrheit. Der Fluss steht nämlich in lebhaftem Austausch mit seiner umgebenden Landschaft. Flüsse, die durch ein Gebirge fließen und großes Gefälle haben, fließen sehr schnell. Das kann dazu führen, dass nach langer Zeit der Fluss durch Erosion sein Bett sehr vertieft hat und nun tief eingeschnitten ist. Sturzbäche aus dem höher gelegenen Gebiet ergießen sich nun, oftmals in spektakulären Wasserfällen, in den Fluss. Der Fluss hat also die umgebende Landschaft geformt.

Das geschieht aber auch unter ganz anderen Bedingungen: In wenig geneigtem Gelände kommt es leicht zu großflächigen Überschwemmungen. Bei jeder Überschwemmung setzen sich einige Wochen lang Schwebstoffe aus dem Fluss ab und hinterlassen nach vielen vielen Überflutungen ein Flusstal, das so flach und eben ist wie ein Tisch und dann Flussaue genannt wird. Die angesammelten Schwebstoffe sind oft reich an Ton und organischem Material, so dass die Böden schwer bearbeitbar, aber für Gras sehr fruchtbar sind. Dauern die Überflutungen aber nicht nur jeweils einige Wochen, sondern sehr viel länger, wachsen in der Flussaue Unterwasserpflanzen – wie z. B. Schilfe oder Seggen. Die abgestorbenen Teile dieser Pflanzen zersetzen sich nur langsam, sinken nach unten und bilden Torf. Im Lauf von einigen tausend Jahren entsteht dann ein Niedermoor. (Hochmoore entstehen anders). Das sind Sümpfe - man kann darin versinken. Niedermooere sind oft nährstoffreich. Wenn man

5 Flüsse und Bäche

Niedermoore nutzen möchte, z. B. indem man das Gras mäht oder Vieh weiden lässt, muss man sie meistens entwässern, so dass der Wasserspiegel mindestens 60 cm unter der Geländeoberkante steht. Nun hat aber die Luft Zutritt zum Torf. Diese Maßnahme hat einen großen Einfluss auf das Niedermoor: Die entwässerten Schichten haben keinen Auftrieb mehr und drücken die tieferen Schichten zusammen – das Moor setzt sich also, es sackt – und die zersetzten Pflanzenteile, aus denen der Torf besteht, werden unter dem Einfluss des Sauerstoffs aus der Luft verbrannt. Torfsubstanz geht also verloren: Man nennt das Moorschwind. Es ist klar, dass unter solchen Bedingungen viel Kohlendioxid an die Atmosphäre abgegeben wird. Eine schonende Nutzung der Moore muss also versuchen, die Absenkung des Grundwassers so klein wie möglich zu halten. Wenn es aber schon zu einer starken Austrocknung der Mooroberfläche gekommen ist, wird der Torf oft mehlartig – er „vermullt“ – und ist dann schwer benetzbar. In diesen Fällen hilft es, eine dünne Sandschicht auf die Bodenoberfläche aufzubringen, ohne sie einzumischen.

Man sieht aus diesen Beispielen, dass zwischen einem Fluss und der Landschaft vielfältige Wechselwirkungen bestehen: Beide formen sich gegenseitig.

KAPITEL 6

BEWÄSSERUNG

Wasserbereitstellung

Regenwasserrückhalt

In Gebieten, die häufig unter Wassermangel leiden, ist der Rückhalt des Regenwassers die erste und wichtigste Maßnahme. Das Anlegen von Terrassen ist wirksam, aber sehr arbeitsaufwendig. Wenn die Regenmenge, die auf einer Fläche niedergeht, nicht ausreicht, um einen Pflanzenbestand wachsen zu lassen, kann man auf einem Teil der Fläche auf den Pflanzenbau verzichten und das auf dieser Fläche anfallende Wasser einem anderen Teil der Fläche zugute kommen zu lassen. Man glättet oder pflastert also einen Teil der Fläche und erzeugt damit absichtlich Oberflächenabfluss, der aber wegen der Befestigung nicht zur Erosion führt. Dieses Wasser lässt man dann auf einem Vegetationsstreifen versickern. Die Fläche, von der Wasser gesammelt wird, soll von einem niedrigen, nur 10 cm hohen Damm umgeben werden. Das gesammelte Wasser leitet man durch eine Mulde (auch nur 10 cm tief) auf eine Bewässerungsfläche, die viel kleiner ist als die Auffangfläche. Auch die Vegetationsfläche muss von einem kleinen Erdwall umgeben werden. Es ist gut, diesen durch eine Steinlage zu sichern. Wenn Bäume bewässert werden sollen, braucht ein Baum unter extremen Bedingungen eine Auffangfläche von 2000 m².

Zisternen

Eine Zisterne ist ein unterirdischer oder abgedeckter Wasserbehälter. Um die Zisterne mit Regenwasser zu füllen, setzt man auf einer größeren Fläche die Versickerung von Wasser herab, indem man eine dünne Bitumen- oder Teerschicht oder Paraffin ausbringt, das in der Sonne schmilzt und die Poren des Bodens verstopft. Die Fläche soll von einem Erdwall umgeben sein und es kann notwendig sein, diese Fläche einzuzäunen. Das bei Regen anfallende Wasser wird in einen unterirdischen Tank eingeleitet. Im Libanon werden z. B. unterirdische gemauerte Tanks seit 2000 Jahren benutzt.

Der Tank kann aus einer Grube bestehen, deren Böschung und Sohle mit Plastikplanen abgedichtet wird. Die dennoch verbleibenden Versickerungsverluste nehmen im Laufe der Jahre ab, weil die Poren des Bodens durch Schwebstoffe verstopft werden („Kolmation“). Ein guter Abschluss des Behälters nach oben verhindert die Verschmutzung des Wassers, das Algenwachstum im Tank und die Entwicklung von Mückenlarven. Das Algenwachstum kann man auch durch Tonziegel bekämpfen, weil diese Silberverbindungen enthalten.

Wassergewinnung aus Wasserläufen

Die Wasserbeschaffung für Bewässerungszwecke ist am einfachsten, wenn ein Wasserlauf vorhanden ist, der regelmäßig ausreichend Wasser führt. Man schüttet dann einen kleinen Damm auf, der das Wasser seitlich in einen Bewässerungszuleiter umleitet.

Wenn die Geländeverhältnisse die Ableitung von Wasser in freiem Gefälle nicht erlauben, kann durch ein Wehr der Wasserspiegel im Fluss angehoben werden. Wenn auch das nicht möglich ist, müssen Pumpen benutzt werden. Es gibt Wasserräder, genannt „Noria“, die durch die Strömung im Fluss angetrieben werden und Wasser nach oben fördern.

Es gibt viele Wasserhebeeinrichtungen auf einfachster Basis, z.B: der Schöpfbrunnen, der Hebel- oder Wippbrunnen („Shaduf“), das persische Rad, die Archimedische Schraube und andere. Nur dann, wenn diese Einrichtungen nicht vorhanden sind oder nicht genug leisten und wenn Elektroenergie zur Verfügung steht, soll man modernere Verfahren benutzen – zunächst die handgetriebene Kolbenpumpe, dann Kreiselpumpen, die durch einen Elektromotor angetrieben werden.

Wenn Wasser nur aus dem Hochwasserabfluss von Gräben oder kleinen Flüssen zur Verfügung steht, kann man zur Speicherung Becken bzw. Stau-Teiche anlegen. Ein Staubecken entsteht, indem man einen Damm baut, der das abfließende Wasser zurückhält. Dabei ist natürlich die Geländegestalt sehr wichtig. Man baut man den Damm da, wo man mit den geringsten Erdarbeiten die größte Wassermenge speichern kann. Wenn das Gelände überall ganz flach ist, sind die erforderlichen Erdarbeiten zum Bau eines Staubeckens ungeheuer groß. Die Wassertiefe im Staubecken kann 2–5 m betragen. Um Unfällen vorzubeugen, ist gegebenenfalls ein Zaun erforderlich.

Falls das Becken nicht der Versickerung bzw. der Anreicherung des Grundwassers dienen soll, kann eine Mischung aus Sand und Ton zur Abdichtung des Beckengrundes dienen. Dennoch muss man mit einem Wasserverlust von 1000 Liter = 1 Kubikmeter je Quadratmeter und Jahr rechnen. Wird der Beckengrund mit einem Plastiktuch bedeckt, soll dieses 15 cm hoch mit Erdstoff überdeckt werden.

Wie bei Flussdeichen müssen abschließende Dämme dem Wasserdruck standhalten und genügend dicht gegen Durchsickerung sein. Bei geeignetem Dammschüttungsmaterial kann der geschüttete Damm beide Funktionen als homogener Damm übernehmen. Oft benutzt man jedoch unterschiedliche Damm-Bestandteile, um diese beiden Hauptaufgaben besser zu erfüllen. Dann entsteht eine Dichtwand und ein Stützkörper (Zwei-Zonen-Damm), wobei der Stützkörper auch die Dichtwand gegen den Wasserdruck stützen muss. Man muss dafür sorgen, dass Pflanzenwurzeln und Wühltiere den Damm nicht beschädigen. In Deutschland müssen alle Dammbauwerke von erfahrenen Ingenieuren geplant werden. Warum ist das so wichtig? Jede durch einen Damm aufgestaute Wassermenge ist wie ein Schwert, das über dem Kopf an einem Seil hängt. Wenn plötzlich der Damm bricht, geht eine Flutwelle los, die große Gewalt hat, so dass Straßen und Dörfer innerhalb weniger Minuten weggespült werden können. Deshalb legt man Speicherbecken nicht unmittelbar oberhalb eines Dorfes an, auch nicht in der Nähe von Viehställen und nicht in Gebieten mit Strom- und anderen Ver- und Entsorgungsleitungen.

Wehre

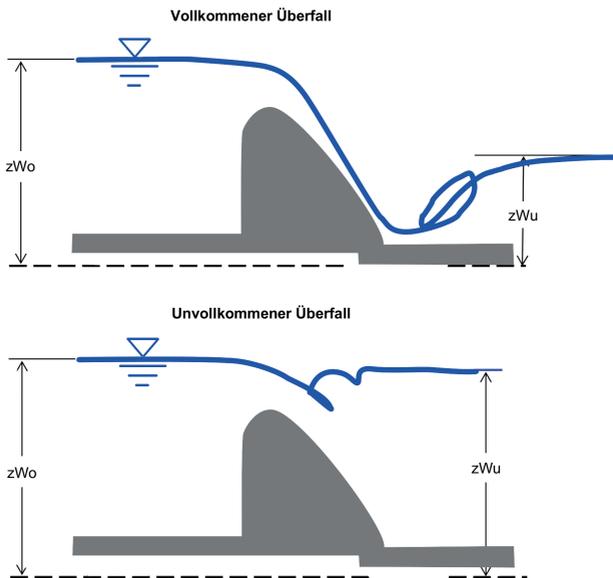
Am Auslauf eines Speicherbeckens muss eine stabile Vorrichtung stehen, die man auch zum Regulieren benutzen kann. Wenn es sich nur um einen kleinen Graben handelt, kann man in den Graben eine Sperre aus

6 Bewässerung

Holzbrettern einsetzen und zwar so, dass man die Bretter ganz oder teilweise hochziehen kann. Dadurch kann man den Durchfluss und die Stauwirkung regulieren. Die Regulierung erfordert aber viel örtliche Erfahrung, denn der Speicher, der durch den Aufstau entsteht, soll immer Speicherraum bieten für ein plötzliches Hochwasser, aber er soll auch niemals ganz leer werden, um die Wasserversorgung des Dorfes nicht zu gefährden. Nicht immer kann man beide Forderungen erfüllen.

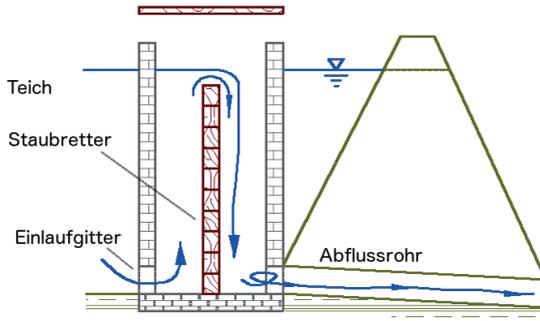
Um Wasser in einem Speicherbecken zu stauen, baut man in der Regel sog. Wehre (Bild 6.1).

Bild 6.1:
Rundkroniges
Wehr: z_{Wo}
Höhe des Was-
serspiegels ü.
Bezugsbasis
im Oberwasser,
 z_{Wu} Höhe des
Wasserspiegels
ü. Bezugsbasis
im Unterwasser



Unterhalb des Wehres ist der Wasserstand niedriger als im Speicherbecken. Das Wehr muss also dem Wasserdruck standhalten. Wegen des Wasserstandsunterschiedes kann es seitlich umströmt oder auch unterströmt werden. Wenn diese Strömung im Erdreich stark ist, wird Erdmaterial mitgerissen, wodurch sich die Strömung weiter verstärkt. In der Regel wird das Stauwerk dann umkippen. Diese Erscheinung heißt hydraulischer Grundbruch und ist der Albtraum aller Wasserbauer. Um den hydraulischen Grundbruch zu verhindern, muss man das Bauwerk tief genug gründen und seitlich von ihm den Boden abdichten, z. B. durch eine sog. Spundwand. Das sind Bretter, die ineinander greifen und

Bild 6.2:
Schematischer
Aufbau eines
Mönchsbau-
werkes



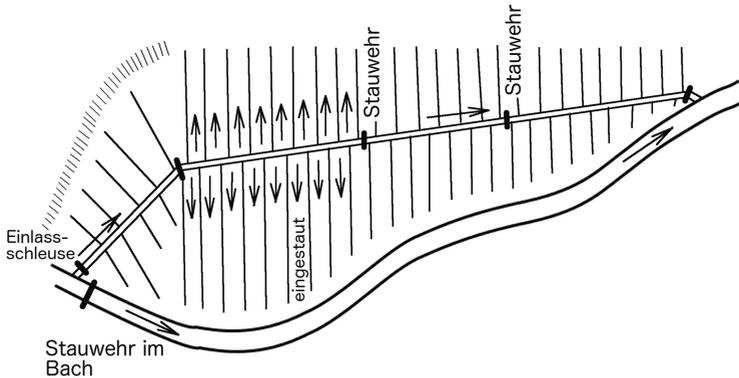
in den Boden eingetrieben werden. Unterhalb des Wehres bilden sich im Wasserlauf starke Wirbel, die das Flussbett ausspülen und auch die Stabilität des Wehres gefährden können. Man muss also die Sohle und die Böschungen unterhalb des Wehres durch Steinpackungen befestigen. Der Abschnitt, der so befestigt wird, heißt Tosbecken.

Ein Damm, der zur Wassergewinnung gebaut wurde, braucht eine Vorrichtung, die dreierlei können soll: Regelung bzw. Steuerung der gewünschten Entnahme-Menge, komplette Entleerung des Beckens (bei Bedarf) und das schadloose Abführen eines Hochwasser-Zuflusses. Diese drei Aufgaben erfüllt vereint in einem Bauwerk seit Jahrhunderten das sogenannte „Mönchsbauwerk“ (Bild 6.2). Vorteilhaft ist es, wenn der Zulauf begrenzt werden kann. Dies kann man dadurch erreichen, dass das Speicherbecken im „Nebenschluss“ zum speisenden Fließgewässer angeordnet wird.

Wasserzuleiter

Das Wasser kann durch kleine Gräben, in denen das Wasser gemäß Gefälle fließt, der Bewässerungsfläche zugeleitet werden (s. Bild 6.3). Wenn das wegen der Geländegestalt nicht geht, muss man Einrichtungen zum Heben von Wasser haben: Pumpen oder traditionelle Vorrichtungen. Oft treten in den Zuleitern große Wasserverluste durch Versickerung auf. Die Gerinne müssen dann mit Ton oder mit Kunststoff-Folien oder mit Asphalt oder Beton oder Holz ausgekleidet werden. Wenn vorhanden, verwendet man Kunststoffrohre. Da, wo der Zuleiter auf die Bewässerungsfläche trifft, muss das Wasser noch eine Auslaufhöhe von 15 bis 20 cm haben.

Bild 6.3:
Grabeneinstau-
bewässerung



Wasserverteilung auf dem Feld

Es gibt viele verschiedene Bewässerungsverfahren. Die Methode, die mit dem Wasser am sparsamsten umgeht, ist die Tröpfchenbewässerung. Man kann sie aber nur anwenden, wenn man Pumpen hat und Energie, sie zu betreiben und sehr sauberes Wasser zur Verfügung steht. Insgesamt ist es eine komplizierte und sehr teure Methode, die in Entwicklungsländern nicht leicht anwendbar ist. Etwas besser sieht es schon mit der gewöhnlichen Beregnung aus, aber auch hier benötigt man Pumpen, die einen hohen Wasserdruck erzeugen, ein Rohrleitungssystem zur Wasserverteilung und Regner. Das alles ist sehr teuer und störanfällig.

Leichter anwendbar sind die Stau- und die Rieselfverfahren, bei denen das Wasser entweder auf die Bodenoberfläche aufgeleitet wird oder langsam über die Fläche fließt oder in Furchen geleitet wird. Leider kann man die Wassergabe bei diesen Verfahren nicht so genau dosieren, so dass viel Wasser vergeudet wird.

Überstauverfahren

Um eine Fläche mit Wasser zu überstauen, muss sie sehr eben sein. Trotzdem muss man vorher noch planieren. Man pflügt dann an den Rändern Dämme auf, die ungefähr 35 cm hoch sind und eine Böschungneigung von 1:3 haben. Dann wird Wasser 10–30 cm hoch eingestaut und abgewartet, bis es versickert ist (siehe Bild 6.4).

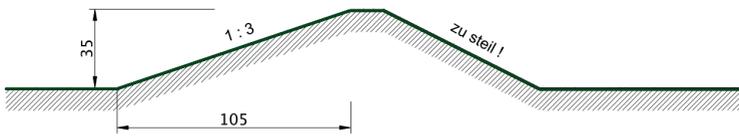


Bild 6.4:
Damm für
Überstaubewässerung, Höhe
und Länge der
Böschung in
cm

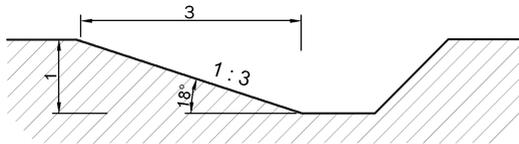


Bild 6.5:
Böschungswinkel
und Böschungs-
neigung an
einer Graben-
böschung

Was ist eine Böschungsneigung? Eine Böschung, die 1 m hoch ist und in der Breite 3 m einnimmt, hat ein Böschungsverhältnis von 1:3. Mit der Horizontalen bildet sie einen Winkel von 18.4° (siehe Bild 6.5).

Rieselverfahren

Wenn das Gelände schwach geneigt ist, kann man Wasser streifenweise oder auf der ganzen Fläche langsam darüber fließen lassen, man sagt "rieseln" dazu. (Bild 6.6). Natürlich darf das Wasser nicht zu schnell fließen, damit der Boden nicht ausgespült wird. Die Fließgeschwindigkeit kann man durch die Überstauhöhe in engen Grenzen etwas beeinflussen. Das Geländegefälle soll größer sein als 0.1% – das ist mit dem Auge fast gar nicht wahrnehmbar, sondern die Fläche sieht ziemlich horizontal aus – und allerhöchstens 3%. Auf dem Feld entsteht eine Wasserfront. Wenn die Front 2/3 bis 3/4 der Feldlänge erreicht hat, wird der Zulauf abgestellt, damit nicht zuviel Wasser am Ende überläuft und verloren geht.

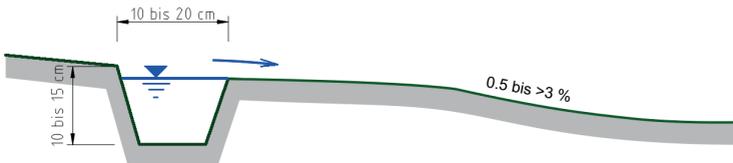


Bild 6.6:
Hangberie-
selungsrinne

Furchenbewässerung

Bei der Furchenbewässerung werden mit einem Pflug Furchen gezogen, die ca. 15 cm tief und bis zu 500 m lang sind und einen seitlichen Abstand von 1–2 m haben. Es ist gut, wenn die Furchen so angelegt werden, dass sie etwas Gefälle haben, also geneigt sind. Die Pflanzen werden in Reihen zwischen die Furchen gepflanzt und am besten nicht viel weiter als 50 cm entfernt von einer Furche. Wenn nun das Wasser in die Furchen geleitet wird, muss man mit einem großen Wasserschwall beginnen. Wenn man das nicht tut, kommt das Wasser gar nicht bis ans Ende der Furche, oder es kommt erst nach langer Zeit ans Ende. Das würde bedeuten, dass das Feld sehr ungleichmäßig bewässert wird. Der große Wasserschwall füllt also die Furche gut aus, das Wasser fließt schnell bis ans Ende der Furche – und dann fließt es heraus. Man kann und muss es in einem Graben auffangen, um es noch weiter zu nutzen. Aber vor allem muss man kurz vor dem Augenblick, an dem das Wasser das Furchenende erreicht hat, den Wasserzulauf drosseln. Im einfachsten Falle gibt man ein paar Schaufeln Erde in den Einlauf. Im Idealfall soll nun gerade soviel Wasser in die Furchen hinein fließen, dass am Ende der Furche nichts ausfließt, aber die Furche am Ende auch noch Wasser führt. Diesen Idealfall kann man nicht so genau erreichen. Man wird es so machen, dass immer noch etwas abfließt. Von der Furche aus fließt das Wasser im Boden vor allem nach unten und ein wenig auch zur Seite. Wenn der Furchenabstand zu groß ist, ist der Anteil, der ungenutzt nach unten versickert, sehr groß. Wegen dieser Form der Wasserbewegung im Boden ist es sehr schwer, ganz kleine Pflanzen, die noch sehr kurze Wurzeln haben, mit dieser Methode zu bewässern. Je tiefer und ausgedehnter das Wurzelsystem der Pflanzen ist, desto besser wirkt die Furchenbewässerung. Bei der Furchenbewässerung wirken die Bodeneigenschaften, das Geländegefälle und die Wassermenge, die man anwendet, auf komplizierte Weise zusammen. Wenn man nur einfachste Hilfsmittel zur Verfügung hat, ist es am besten, einige Testfurchen anzulegen und zu probieren, wie es funktioniert. Auf sandigen Böden können die Furchen bei mittlerem Geländegefälle 100 bis 400 m lang sein, bei tonigen Böden dürfen es 400 bis 800 m sein. Wenn das Geländegefälle zu klein ist, funktioniert das nicht, weil das Wasser nicht bis ans Ende der Furche kommt. Dann müssen die Furchen also kürzer sein. Die Furchenlänge wird also bei kleiner Geländeneigung begrenzt, weil das Wasser nicht die ganze Furchenlänge ausfüllt und bei großem Geländegefälle fließt in langen Furchen das Wasser zu schnell. In den Lehrbüchern gibt es viele

Tabellen über empfohlene Furchenlängen, aber der eigene Versuch ist besser als solche Richtwerte.

Bewässerung und Bodenversalzung

Ein Hauptproblem der Bewässerung in ariden und semi-ariden Gebieten ist die Bodenversalzung. Die Salze stammen aus dem Boden, aus dem Grundwasser und aus dem Bewässerungswasser. Auch „gutes“ Wasser enthält 0.3 g Salz je Liter. Wenn das im Boden befindliche Wasser von den Pflanzen aufgenommen wird, bleiben die darin gelösten Salze zum größten Teil im Boden zurück. Auch das Wasser, das von der feuchten Bodenoberfläche aus verdunstet, also dampfförmig wird, hinterlässt seine enthaltenen Salze im Boden. Auch dann, wenn das Wasser nicht sehr stark salzig ist und wenn man noch ziemlich sauberes Bewässerungswasser zur Verfügung hat, reichern sich die Salze im Laufe der Zeit an. Auf die Pflanzen wirkt das so, als ob weniger Wasser im Boden wäre. Wenn also viele Salze im Boden enthalten sind, können Pflanzen welken, obwohl sich der Boden nass anfühlt. In einem Klima wie z. B. in Deutschland, in dem im Winter viel mehr Regen fällt als Wasser verdunstet, werden die Salze immer wieder ausgewaschen und können sich nicht anreichern. Aber wenn der winterliche Regenüberschuss fehlt, reichern sich die Salze im Boden an. Welche Gegenmaßnahmen gibt es? Es gibt zwei unterschiedliche Strategien.

Strategie 1: Man sorgt dafür, dass ständig ein nach unten gerichteter Wasserstrom vorhanden ist, also ständig Wasser versickert. Der Salzgehalt im Boden ist dann ungefähr so hoch wie im Bewässerungswasser, aber nicht viel höher. Das hat natürlich zur Voraussetzung, dass immer genug Wasser da ist. Das kann auch Wasser sein, das schon einmal in oberhalb gelegenen Flächen zur Bewässerung benutzt wurde und dort abgeflossen ist. Natürlich wird sein Salzgehalt nach jeder Bodenpassage etwas größer. Wenn nicht genug Wasser zur Verfügung steht, muss Strategie 2 angewandt werden.

Strategie 2: Man soll so wenig Salz mobilisieren wie irgend möglich und wenn es eine Regenzeit gibt, dann muss diese zum Auswaschen der Salze („leaching“) genutzt werden. Wenig Salz mobilisieren bedeutet: Nicht im Überschuss bewässern. Die in der Tiefe des Bodens enthaltenen Salze sollen nicht aufgelöst werden. Man kann durch Einstechen in den Boden oder Aufgraben grob feststellen, bis zur welcher Tiefe der Boden feucht

ist und bis zu welcher Tiefe viele Pflanzenwurzeln reichen. Unterhalb der Wurzelzone soll der Boden trocken bleiben!

Außerdem muss man unbedingt verhindern, dass Wasser vom Grundwasser aus nach oben steigt. Obwohl die Pflanzen das Wasser benötigen, führt dieser sog. kapillare Wasseraufstieg sehr leicht zu einer verhängnisvollen Bodenversalzung, weil auch da das Wasser gelöste Salze mitbringt, die im Oberboden zurück bleiben und sich anreichern. Wenn keine regelmäßige Auswaschung der Salze möglich ist, dann muss der Abstand zwischen der Bodenoberfläche und dem Grundwasserspiegel in Sand- und Tonböden mindestens 2 m, in Schluffböden mindestens 4 m betragen, um den kapillaren Wasseraufstieg nicht zu groß werden zu lassen. Das erfordert eine sehr tiefe und schwierig zu bauende Dränung der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Die Auswaschung (Leaching)

Nach der Ernte oder jedenfalls in der Jahreszeit, die am wenigsten heiß ist, und in der es vielleicht sogar einmal regnet, muss man versuchen, die Salze aus der vorigen Wachstumsperiode aus dem Boden auszuwaschen. Dazu darf die Auswaschungsperiode nicht zu kurz sein, denn das Wasser sickert nur langsam durch den Boden. Solange noch viel Salz im Boden ist, geht die Versickerung noch am schnellsten. Je mehr Salze aus dem Boden ausgewaschen werden, desto mehr quillt der Boden (wenn es ein sog. „bindiger“ Boden ist) und die großen Poren, die das Wasser leiten, schließen sich. Aus diesem Grund ist es gut, die Auswaschung mit dem schlechtesten (also salzreichsten) Wasser zu beginnen, das zur Verfügung steht, also mit Wasser, das schon versalzen ist. Damit wird verhindert, dass die Quellung sofort wirksam wird. Erst nach und nach soll dann, wenn möglich, mit besserem Wasser ausgewaschen werden. Es gibt Böden, die man mit Auswaschung überhaupt nicht mehr entsalzen kann, weil ihre Wasserdurchlässigkeit in salzarmem Wasser zu klein ist. Solche Böden gehen dem Pflanzenwachstum oft verloren. Man kann aber versuchen, in solchen Fällen die Natriumsalze gegen Kalziumsalze auszutauschen, weil die Quellung dadurch schwächer wird. Dazu werden solche Böden mit Gips gedüngt. In verzweifelten Fällen muss der Pflanzenbau auf den zu stark versalzten Flächen für immer aufgegeben werden.

Salztoleranz von Pflanzenbeständen

Nicht alle Pflanzen reagieren auf einen Salzgehalt im Boden mit dem gleichen Ertragsausfall. Dabei kommt es auch darauf an, welche Salze sich im Boden anreichern. Es gibt ein Gütekriterium, das das Verhältnis von Natriumsalzen zu Kalzium+Magnesiumsalzen ausdrückt (SAR-Wert). Je mehr Natrium im Salz relativ zu Kalzium und Magnesium vorhanden ist, desto ungünstiger sind die Bedingungen für Pflanzen. Eine gewisse Orientierung für die Empfindlichkeit der Pflanzen gibt die folgende Tabelle:

Sehr unempfindlich	unempfindlich	empfindlich	Sehr empfindlich
Baumwolle	Raps	Mais	Reis
Gerste	Weizen	Luzerne	Grüne Bohnen
Roggen	Hafer	Klee	Zitruspflanzen
Datteln	Sorghum	Erdnüsse	Obstbäume
Zuckerrüben	Oliven	Kartoffeln	
	Feigen	Spinat	

KAPITEL 7

ENTWÄSSERUNG

In den gemäßigten Klimazonen werden Böden oft entwässert, weil sie sonst zu lange so nass sind, dass man sie nicht befahren und pflügen kann oder dass zu wenig Luft im Boden ist, um die Pflanzenwurzeln am Leben zu erhalten. Aber in den heiß-trockenen Klimazonen muss entwässert werden, um der Bodenversalzung zu begegnen. Der Grund: Wasser, das zur Bodenoberfläche aufsteigt, bringt Salze mit sich, die nicht, wie das Wasser, verdunsten, sondern sich im Boden anreichern und den Pflanzen schaden. Wenn der Boden anhaltend zu nass erscheint, ist es gut, sich die Ursachen dafür zu überlegen. Man vermeidet dadurch, Maßnahmen zu treffen, die am Ende nicht helfen. Der Boden ist vielleicht zu nass

- weil in einer Geländemulde Wasser von der Seite oberirdisch oder auch unterirdisch als Grundwasser zufließt und den Boden vielleicht sogar überschwemmt
- weil der Grundwasserspiegel weniger als 1 m unter den Erdoberfläche ansteht
- weil der Boden das Regenwasser nicht versickern lässt oder das Wasser so fest hält, dass es nicht abfließen kann.

Die ersten beiden Vernässungsursachen kann man schon erraten, wenn man das Gelände nachdenklich ansieht. Wenn eine von diesen Ursachen zutrifft, helfen Entwässerungsmaßnahmen, die hier beschrieben werden. Bei der dritten Ursache helfen sie nicht! Daher muss man prüfen, ob

die Ursache der Vernässung im Boden selbst liegt. Zunächst kann man abschätzen, welche Art von Boden man vor sich hat. Böden, die im trockenen Zustand harte Brocken bilden und im nassen Zustand plastisch verformbar und schmierig sind, neigen dazu, Wasser zu speichern oder jedenfalls nicht hindurch fließen zu lassen. Dann kann man eine Grube ausheben, die mindestens 1 m tief sein sollte, eine Wand senkrecht anlegen und mit dem Spaten glatt abstechen. Man sieht dann Merkmale, die auf bodenbedingte Vernässung hinweisen. Das sind z.B: schwarze Farbe unterhalb von 80 cm Tiefe oder rostfarbene Flecken unterhalb von 40 cm Tiefe. Es ist wichtig, diese Fälle zu erkennen. Eine einfache Methode zur Untersuchung der Bodeneigenschaften (in Bezug auf sein Verhalten zum Wasser) geht so: Man gießt aus einem Eimer an einer Stelle 10 Liter Wasser ruckartig aus und beobachtet, was passiert. Böden, auf denen 10 Liter Wasser, wenn ausgegossen, spätestens nach einer halben Stunde versickert sind, lassen sich durch Gräben oder Dräne entwässern. Die anderen Böden erfordern eine andere Behandlung .

Vorflut und Grabenentwässerung

Flüssiges Wasser kann man durch Gräben oder durch eine Dränung in einen Graben mit tieferem Wasserstand fließen lassen, von wo es weiter abfließen kann. Einen solchen Graben nennt man „Vorflut“ und die Möglichkeit, Wasser abzuführen und wegfließen zu lassen, nennt man auch Vorflut. In einer Badewanne ist das Abflussrohr die Vorflut, wenn es nicht zugestöpselt ist. Wenn keine natürliche Vorflut vorhanden ist, kann man sie künstlich schaffen, aber das erfordert Pumpen, ein sog. Schöpfwerk. Eine solche Maßnahme sollte von einem Ingenieur geplant werden und wird hier daher nicht besprochen. Wenn also das Gelände so geneigt ist, dass natürliche Vorflut vorhanden ist, kann man Gräben (oder Dräne) anlegen, durch die das Gelände 10–30 m daneben entwässert wird. Das Bild 7.1 zeigt ein Schema einer solchen Anlage. Durch die Entwässerungszüge fließt das tropfbar flüssige Wasser im benachbarten Boden (nicht die fühlbare „Feuchtigkeit“) in den Graben oder in die Dränleitung. Man muss solche Entwässerungszüge in einem seitlichen Abstand von 20–60 m anordnen. Je bindiger oder klebriger der Boden ist, besser gesagt: je kleiner seine Wasserdurchlässigkeit ist, in desto kleinerem Abstand müssen die Entwässerungszüge verlaufen. Die beste Methode, den richtigen Abstand herauszufinden, besteht darin, zu erkunden, was ortsüblich ist und was sich schon bewährt hat. Im Zweifelsfall beginnt man mit einem größeren Abstand. Wenn sich zeigt,

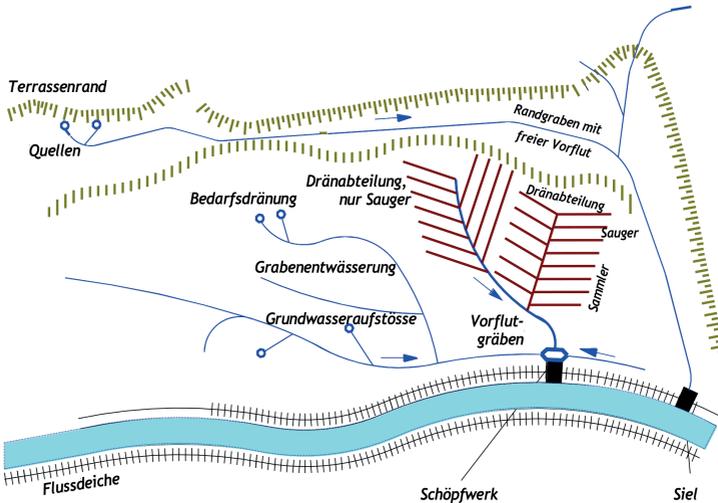
dass eine Entwässerungswirkung vorhanden ist, aber nicht weit genug reicht, kann man später weitere Entwässerungszüge dazwischen anlegen. Die volle Wirkung zeigt sich jedoch erst nach ein- oder zwei Jahren! Gräben sollen ein Trapezprofil bekommen und eine Böschungsneigung von 1:1 haben, in sandigen Böden 1:1.5. Das heißt also, dass bei 1 m Grabentiefe die Böschung eine Breite von 1 bzw. 1.5 m einnimmt. Die Sohlbreite des Grabens liegt je nach Grabenlänge zwischen 0.5 und 1 m. Wenn sich aber nun zeigt, dass die Gräben in sehr geringem Abstand angelegt werden müssen, bleibt von dem Land nicht mehr viel für den Pflanzenbau übrig, daher zieht man schmale Gräben, sog. Drängräben, die wieder verfüllt werden.

Dränung

Eine Dränung ist ein System von schmalen Gräben, auf deren Sohle Entwässerungsstränge liegen, die das flüssige Wasser im Boden aufnehmen und weiterleiten können. Die Stränge können aus verschiedenen Materialien bestehen und sehr vielfältig ausgestaltet sein. Im klassischen Fall nimmt man Tonrohre, die einfach aneinander gelegt werden, so dass das Wasser durch die Fugen eintreten kann. Solche Rohre haben oft eine lichte Weite von 5 cm und sind 30 cm lang. Es können auch perforierte Plasterohre sein. Und zur Not kann man auch einfach Hölzer bzw. Fashinen, zerkleinertes Buschwerk und Steine in einen Drängraben legen, der dann wieder verfüllt wird. Die Drängräben müssen ein Gefälle haben, damit das Wasser in ihnen fließen kann. In einem Gelände, das sehr flach ist, ist es schwierig, ohne Instrumente den Gräben ein Gefälle zu geben. Beim Anlegen der Drängräben muss man beobachten, ob sich sogleich Wasser in ihnen sammelt und wohin es fließt. In ganz ebenem Gelände wird man versuchen, die Drängräben am oberen Ende flacher anzulegen und dann zum Auslauf hin zu vertiefen, so dass sie etwas Gefälle haben, „künstliches Gefälle“, wie man sagt. Aber das Problem ist, dass der Drängraben am Auslauf immer noch etwas höher sein muss, als der Sammler oder der Graben, in den er mündet – sonst hat er keine Vorflut. In auch nur leicht geneigtem Gelände zieht man die Drängräben schräg zum größten Gefälle, nicht einfach hangabwärts. Die Drängräben sollen nicht länger als 200 m sein. Wenn das Feld größer ist, muss eine solche Dränleitung irgendwo einmünden, in einen Graben oder in eine größere Rohrleitung, die man dann Sammler nennt. Wenn der umgebende Boden ganz voll Wasser ist, was oft der Fall ist, wenn auf dem Feld große Pflügen stehen oder Wasser in kleinen Vertiefungen steht, dann darf man

7 Entwässerung

Bild 7.1:
Entwässerungs-
systeme: links
Grabenentwässerung
und
rechts Dränung



die Drängräben nicht sogleich bis zur gewünschten Tiefe ausheben, weil das in die Drängräben eintretende Wasser die Seitenwände des Grabens zum Einsturz bringen würde. Erst wenn ein Teil des Wassers abgeflossen ist, darf man den Drängraben ganz ausheben. Die Drängräben werden mit dem sog. Aushub verfüllt, also mit dem Material aus dem Drängräben. Aber schon beim Anlegen der Gräben muss man darauf achten, dass das Material aus den oberen 30 cm auf der einen Seite abgelegt wird, das restliche Bodenmaterial auf der anderen Seite des Drängrabens. Beim Verfüllen muss nämlich das Material aus den oberen 30 cm zuerst eingefüllt werden („Verstechen“), weil es oft besser wasserdurchlässig ist. Es ist gut, wenn die Drängräben ein gleichmäßiges Gefälle haben, wenn es zumindest keine lokalen Vertiefungen gibt. Diese Vertiefungen behindern den Wasserdurchfluss und führen oft zu Verstopfungen.

Dräntiefe und Dränabstand Welche Tiefe sollen die Drängräben haben? Wenn man deswegen entwässert, weil der Boden oftmals für die Pflanzen zu nass ist (also nicht genügend durchlüftet ist) oder weil der Boden zu nass zum Bearbeiten ist, dann macht man die Gräben 1 m bis 1.5 m tief. Aber es ist gut, beim Graben darauf Acht zu geben, ob verfestigte Schichten oberhalb von 1.5 m Tiefe vorhanden sind. Wenn solche Schichten vorhanden sind, kann man die Dräne oberhalb dieser Schicht anordnen. Vielleicht ist die Dräntiefe dann sehr klein, die Gräben sind ganz flach. Der Dränabstand muss dann verkleinert werden. Wenn die

Bild 7.2: Äste als Sickerhilfe in Drängräben



Schicht, die vermutlich schwer wasserdurchlässig ist, nur 50–80 cm tief ist, wäre es gut, mit einem großen Pflug oder einem anderen Werkzeug diese Schicht aufzubrechen. Wenn das nicht geht, kann man versuchen, die Drängräben tiefer anzulegen – also in die verfestigte Schicht hinein –, aber nicht mit der anstehenden Erde, sondern mit Kies oder Sand oder Erdstoff+Buschwerk zu verfüllen. Sind diese Ersatzstoffe zu teuer, so werden Äste in die Gräben gestellt und der Graben-Aushub wieder darin verfüllt, wobei eine gewisse Porosität erhalten bleibt (Bild 7.2). Wenn man entwässert, um der Gefahr der Bodenversalzung zu begegnen, muss man eine sehr große Dräntiefe wählen, manchmal 4 m. Das bedeutet einen sehr hohen Aufwand, der mit Handarbeit kaum zu bewältigen ist.

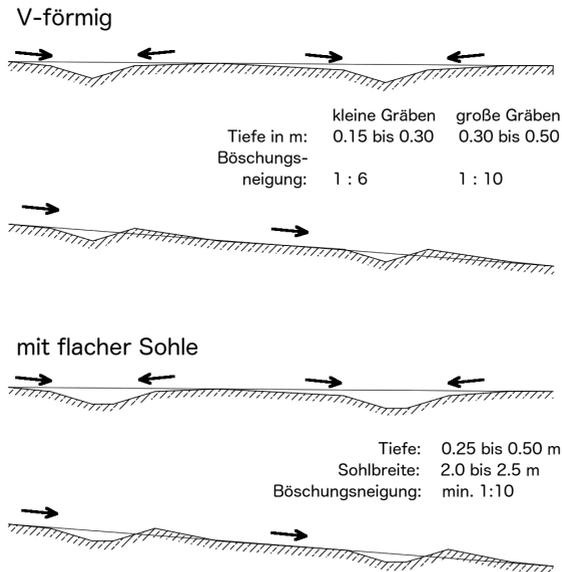
Über den richtigen seitlichen Abstand zwischen zwei Entwässerungsleitungen oder Dränen haben sich schon kluge Leute viele Gedanken gemacht. Im vorigen Abschnitt über die Grabenentwässerung haben wir das Problem schon angetippt. Leider kann man keine einfache Empfehlung geben, die sicher funktioniert, ohne dass man genaue Daten über Niederschläge und Bodeneigenschaften hat. Soviel sei aber gesagt und gewagt: In Deutschland hat man den optimalen Dränabstand für viele Flächen nach den verschiedensten, mehr oder weniger komplizierten Verfahren berechnet, aber in vielen Fällen ergaben sich auf den mittleren Ackerböden übereinstimmende Werte von 16–20 m.

Entwässerung von schwer wasserdurchlässigen Böden (das ausgegossene Wasser versickert sehr langsam) Das sind oft tonreiche und/oder stark verfestigte Böden. Diese Böden binden das Wasser so fest, dass nur ein ganz kleiner Teil davon tropfbar flüssig ist. Eigentlich sind sie nicht durch Maßnahmen entwässerbar, die auf der Wirkung der Schwerkraft beruhen. Aber auch diese Böden können bei Sonneneinstrahlung ganz trocken werden, so dass sie vielleicht steinhart werden und Trockenrisse bekommen. Die Trockenrisse sind für die Wiederbefeuchtung dieser Böden sehr wichtig: Ohne sie würde der Boden nicht so leicht tiefgründig feucht werden. Ist nun ein solcher Boden oftmals zu nass, kann man versuchen, das Regenwasser abzufangen, bevor es in den Boden eindringt. So schwierig solche Böden auch sind, aber der kapillare Wasseraufstieg aus dem Grundwasser ist gewöhnlich sehr klein. Deshalb ist eine tiefe Entwässerung zur Verhinderung der Bodenversalzung oft nicht nötig. Wenn der Boden sehr wenig Wasser versickern lässt oder wenn in geringer Tiefe (z. B. 50 cm) eine Schicht aus klebrigem, plastischen Material ansteht, lässt sich die normale Dränung nicht anwenden. Man wählt dann Systeme mit sehr flacher Dränung und versucht, das überschüssige Wasser abzuleiten, bevor es in den Boden eindringt. Der seitliche Abstand zwischen den Dränen muss dann sehr klein sein, z.B.: 10 m. Die Drängräben können in die undurchlässige Schicht auch etwas einschneiden, wenn sie mit durchlässigem Material verfüllt werden. Eine andere Möglichkeit besteht in offener Entwässerung mit Vertiefungen, die sehr flach sind (Bild 7.3).

Maulwurfsdränung Bei der sog. Maulwurfsdränung wird in lehmigen oder tonigen Böden mit einer Maschine ein rohrförmiger Gang in den Boden gepresst. Dieser Maulwurfsgang muss normale Dränleitungen kreuzen, wobei in diesem Falle die Drängräben mit grobem, sickerfähigem Material verfüllt sein müssen. Man zieht die Maulwurfsgänge in 40–60 cm Tiefe mit einem seitlichen Abstand von nur 2–3 m. Während eine Rohrdränung mehrere Jahrzehnte hindurch funktionsfähig bleiben soll, sind es bei der Maulwurfsdränung nur 3–5 Jahre. Aber die Anlage der Maulwurfsdräne ist einfacher als die Anlage einer Rohrdränung.

Besondere Schwierigkeiten bei der Anlage von Entwässerungsanlagen Böden, die sehr viel sehr viel feinen Sand enthalten, sind dann, wenn sie unter Wasser geraten, nicht formstabil. Es gibt sog. „Treibsande“. Wenn man im nassen Zustand eine Grube ausheben will, fließt von der Seite ständig Erdstoff nach. Die Grube wird also nicht

Bild 7.3:
Befahrbare
flache Entwässerungsgräben

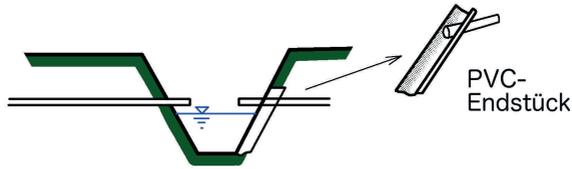


tiefer, wie erwartet, sondern breiter. Ohne besondere technische Hilfsmittel (Grundwasserabsenkung, Spundwände) ist es schwierig, mit diesen Bedingungen zurecht zu kommen. Wenn es gelungen ist, auf einem solchen Boden dann eine Dränung anzulegen, wenn er trocken ist, kann später der Treibsand in die Dränrohre eindringen und diese verstopfen. Die größten Dränmaterialien, wie z. B. Faschinen, sind dagegen am wenigsten empfindlich. Wenn man aber Dränrohre verwendet, muss man sie filtern. Die Rohre müssen also mit einem Material umgeben werden, das zwar Wasser passieren lässt, aber den Sand zurück hält. In Betracht kommt dafür grober Torf, Stroh, Schilf, Rasensoden, Stroh oder gehacktes Buschwerk.

Eine weitere Schwierigkeit entsteht in sehr flachem, kaum geneigtem Gelände. Die Dränleitungen sollen aber trotzdem etwas Gefälle haben und sie sollen vor allem keine örtlichen Vertiefungen („Säcke“) haben. Dort würde das Wasser langsamer fließen und mitgeführte Erdstoffe würden sich absetzen und das Rohr verstopfen. Ohne Instrumente ist es schwierig, eine gute Dränleitung in flachem Gelände herzustellen. Wenn Wasser auf der Baustelle zur Verfügung steht, kann man etwas ausgießen und sein Fließen beobachten.

7 Entwässerung

Bild 7.4:
Beispiele für
Befestigung
der Dränaus-
mündung,
unten: einfache
Bettung
mit kleinen
Baumstämmen,
fehlender
Böschungsschutz



Dränausmündungen Dränausmündungen soll man ein wenig befestigen (Bild 7.4). Man kann z. B. das letzte Dränrohr in einen 1m langen Holzkasten münden lassen und die Ausmündung mit einem Gitter oder einer Klappe versehen, damit keine Tiere hinein kriechen. Die Entwässerungszüge sollen 10–20 cm oberhalb der vermuteten Mittelwasserlage im Graben ausmünden. Ein besonderer Fall liegt vor, wenn das Wasser im Graben stellenweise hellbraun aussieht oder hellbraune Farbwolken mit sich führt. Es handelt sich um Eisenverbindungen, die an der Luft Flocken bilden und die Eintrittsöffnungen der Dräne, manchmal auch die Dränausmündungen, verstopfen können (Verockerung). In diesem Falle sollen die Dränrohre Filter bekommen und es kann gut sein, die Dränleitung unter Wasser ausmünden zu lassen, damit der Luftaustausch behindert wird.

Sicherung von Gewässerprofilen

Bei Baumaßnahmen an einem Wasserlauf muss man zunächst darauf achten, dass die Böschung nicht zu steil gebaut wird. Man gibt die Neigung durch eine Verhältniszahl an. Eine Böschung, die bei 1 m Tiefe eine seitliche Ausdehnung von z. B. 1.5 m hat hat die Neigung 1 zu 1.5 (1:1.5). Keine Böschung sollte steiler als 1:1 gebaut werden. Bei wenig standfestem Boden empfiehlt sich 1:2 und Deiche haben auf der Landseite oft Neigungen von 1:3.

Wenn ein Gewässerprofil, das bei Hochwasser vielleicht zerstört wird, oder das auch bei mittlerem Abfluss nicht stabil ist, gesichert werden soll, kann man im Winkel zwischen Sohle und Böschung, also im Böschungsfuß Faschinen anbringen. Das sind 1–2 m lange Bündel aus Holz, die mit Draht zu Walzen von 50–80 cm Durchmesser zusammen gebunden werden. Die Hölzer dazu werden aus dem Bewuchs aus dem weiteren Uferbereich abgeschnitten und sollen einen Durchmesser von 2 bis 7 cm haben. Die Faschinen werden mit Holzpfählen an der Böschung befestigt. Zusätzlich kann man besonders unterhalb des Wasserspiegels Steinschüttungen verwenden. Die Steine sollen nach Möglichkeit in ein Kiesbett gelegt werden (Bild 8.1). Das Ufer kann auch durch Büsche oder kleine Bäume gesichert werden. Die Sicherung mit lebenden Pflanzen hat den

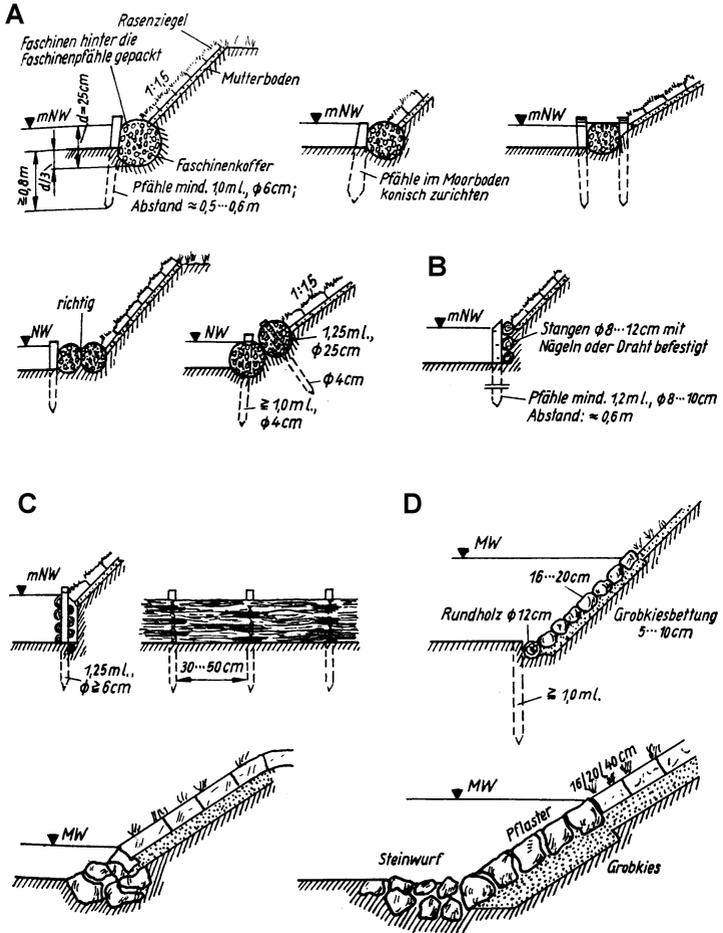


Bild 8.1: Möglichkeiten von Böschungsfussicherungen. A Faschinen, B Derbstangen, C Flechtzaun, D Steinpflaster und Steinpackung

Vorteil, dass ihre Wurzeln den Boden durchflechten und dadurch stabilisieren. Welche Pflanzen unter den örtlichen Bedingungen gedeihen, kann man herausfinden, wenn man bewachsene Wasserläufe in der Region beobachtet. Günstig ist eine Mischung aus Pflanzen, die Tiefwurzler sind mit solchen, deren Wurzeln flach verlaufen und Ausläufer treiben. Wird eine Pflanzung angebracht, soll sie an der Böschung so tief wie irgend möglich beginnen. Man führt die Pflanzung daher am besten aus, wenn das Gewässer gerade ein Niedrigwasser hat. Bepflanzungen oberhalb der mittleren Wasserspiegellage haben nur eine geringe Wirkung. Durch eine Bepflanzung der Böschung wird diese gegen Unterspülung gesichert. Eine gute Böschungssicherung erreicht man durch Rasensoden.

Wenn das Wasser sehr schnell fließt und die Sohle erodiert, also eingetieft wird, kann man Schwellen in die Sohle einbauen. Dazu kann man Steine, Baumstämme oder Faschinen benutzen. Durch diese Schwellen fließt das Wasser langsamer und der Wasserstand erhöht sich. Wenn diese Maßnahmen nicht mehr ausreichen, kann man eine Sohlrampe mit der Neigung 1:3 bis 1:10 bauen. Dort fließt das Wasser dann sehr schnell und dieser Bereich muss entsprechend gesichert werden. Dafür ist dann aber das Gefälle im angrenzenden Bereich des Gewässers kleiner und das Wasser fließt langsamer.

Hochwasserschutz

Hochwasserschäden können durch Hochwasser-Rückhaltebecken verringert werden: Talsperren übersteigen das Maß dieser Einführung, aber bei geeigneter Geländegestalt kann manchmal auch im Kleinen Gutes bewirkt werden. Entlastungsflächen sind tief gelegene Flächen seitlich vom Wasserlauf, die bei Hochwasser überflutet werden und deren Überflutung hingenommen werden kann. Sie sind eine wunderbare Methode, Hochwasser-Schäden zu vermeiden. Nach dem Hochwasser entleert sich die Entlastungsfläche zumeist langsam und nicht vollständig. Hochwasser-Umleitungen sind wasserbauliche Maßnahmen, die viel zu groß für diese Fibel sind.

Hochwasserschutz-Deiche

Durch einen Deich wird zwar das Hochwasser von der schutzbedürftigen Fläche abgehalten, aber durch den Deich erhöht sich der Wasserstand

im Fluss bei Hochwasser. Das Wasser fließt schneller und unterhalb des eingedeichten Gebietes wird die Hochwasserwelle schneller eintreffen und höher eintreten als vor der Eindeichung. Um diese ungünstigen Wirkungen zu begrenzen, darf man die Deiche beiderseits nicht zu dicht an den Fluss setzen. Man soll soviel Vorland vor dem Deich vorsehen, wie möglich ist. Dieses Vorland nimmt Wasser aus der Hochwasserwelle heraus und wegen der kleineren Wassertiefe sowie auch wegen des Bewuchses auf dem Vorland ist die Fließgeschwindigkeit viel kleiner als im Flussbett. Das schützt den Deich vor Ausspülung auf der Wasserseite. Unser Deich muss aber noch weitere Fähigkeiten bekommen, wenn er einer Flut standhalten soll. Zunächst muss er eine genügende Standsicherheit haben. Diese erreicht man, indem man die Böschung flach neigt, auf der Wasser- und auf der Landseite z. B. 1:3 – siehe Bild 8.2 – und manchmal noch flacher. Die Kronenbreite hängt mit der Deichhöhe zusammen. Ganz grob kann man die halbe Deichhöhe als Kronenbreite empfehlen. Die Höhe des Deiches richtet sich nach dem zu erwartenden Hochwasserstand. Durch langjährige Beobachtungen und durch Berechnungen gibt es dafür in den Industrienationen Anhaltspunkte. Wenn solche Daten nicht zugänglich sind, muss man sich auf örtliche Erfahrungen stützen, also auf frühere Beobachtungen von Katastrophenhochwasser-Ereignissen. Weil durch den Deich das Hochwasser noch etwas höher aufläuft und auch der Wellengang eine Rolle spielt, muss der Deich 0.5 bis 1 m höher ausgeführt werden als der bisher höchste bekannte Wasserstand. Man muss nämlich bedenken, dass jeder Deich zerstört wird, wenn er überflutet wird. Einem Wasserstrom, der über die Deichkrone fließt, hält kein Erdstoff stand. Um ganz sicher zu gehen, vermindert man an einigen Abschnitten die Deichhöhe um einen halben Meter und pflastert den Deich in diesen Abschnitten. Dann hat man einen Überlauf, der bewirkt, dass im Notfall der Deich einen Teil des Hochwassers nicht abwenden („kehren“) kann, aber selbst erhalten bleibt. Deiche müssen durch eine Grasnarbe geschützt werden, aber man darf keine Bäume auf ihnen anpflanzen. Wenn die Bäume bei einem Sturm entwurzelt werden, gefährden sie den Deich. Schließlich muss der Deich für Wasser schwerdurchlässig sein. Wenn der Erdstoff aus grobem Sand oder Torf besteht, ist das nicht gegeben. Man baut dann eine Dichtungsschürze aus tonreichem Boden ein. Sie befindet sich in der Mitte der landseitigen Böschung, ist unten 1–1.2 m dick und verjüngt sich nach oben. Bei Hochwasser strömt etwas Wasser durch den Deich und es bildet sich im Deich ein Wasserspiegel. Das ist die sog. Sickerlinie. Sie soll stark nach unten geneigt sein. Besonders eine Dichtungsschürze lenkt die Sickerlinie nach unten. Bei Hochwasser soll man den Deich

(nach DIN 19712/1997)¹⁾

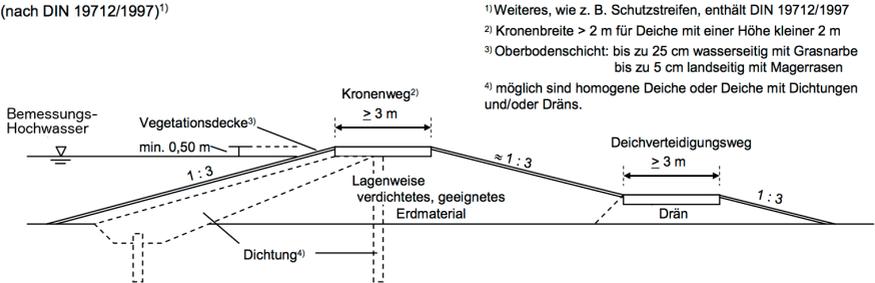


Bild 8.2: Hochwasserschutz-Flussdeich

beobachten: Auf der Landseite darf kein Wasser oberhalb des Deichfußes austreten, weil genau da der Deich ausgespült wird und brechen kann. Treten solche Stellen auf, muss man sie sofort mit Sandsäcken stabilisieren. Wasser, das weiter binnenwärts austritt, ist nicht gefährlich. Man kann es durch einen Deichgraben ableiten. Ein Deich braucht eine ständige Pflege: Im Boden wühlende Tieren müssen vertrieben werden und das Gras muss gemäht werden. Diese Arbeiten werden am besten von Schafen ausgeführt. Sie fressen das Gras und verdichten den Boden durch ihren Tritt.

Kreuzungsbauwerke

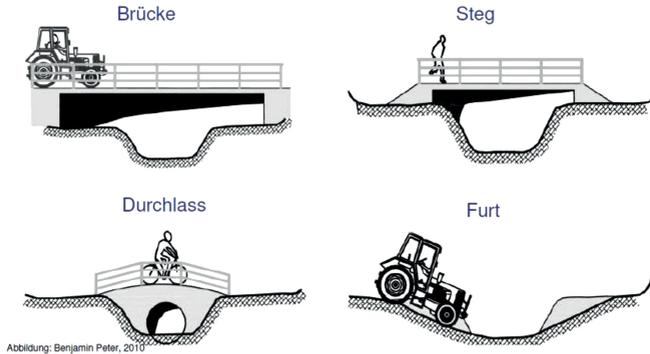
Ein Kreuzungsbauwerk kreuzt einen Weg, eine Rohr- oder elektrische Stromleitung mit einem Fließgewässer. Die komfortabelste, aber auch teuerste Lösung dafür ist eine Brücke. Meistens genügend und mit weniger Aufwand realisierbar sind Durchlässe und als deren Sonderfall Furten (Bild 8.3). Besondere Kreuzungs-Situationen erfordern Düker, Aquädukte oder Rohrbrücken, durch die zwei Wasserläufe unter- bzw. übereinander gekreuzt werden. So etwas sollte aber ein Ingenieur planen und beaufsichtigen.

Durchlässe

Die Urform der Durchlässe ist der Plattendurchlass (Bild 8.4). Er ist robust und ökologisch vernünftig, aber man benötigt verwendbares Stein-

8 Wasserbau

Bild 8.3:
Kreuzungsbauwerke



material in unmittelbarer Umgebung. Das Bauen von Plattendurchlässen erfordert viel Handarbeit. Der Rohrdurchlass ist heute die meistens verwendete Form. Meistens wird ein Rohr aus Beton, Schleuderbeton, Wellstahl (ARMCO-Profil) oder Kunststoff in die Grabensohle eingebaut. Der Durchmesser des Rohres muss beinahe so groß sein wie die Sohlbreite des Grabens. Für ländliche Bauwerke liegt die lichte Weite zwischen 0,4 und 0,8 m. Statt eines Kreisrohres die kann die Durchleitung auch als Rechteckprofil in Beton oder aus Holz hergestellt werden (Bild 8.5).

Man liegt das Rohr 10 cm tiefer als die Grabensohle. Das Rohr soll ungefähr dasselbe Gefälle wie der Graben haben. Werden mehrere Rohre über die ganze Durchlass-Länge benötigt, sollten sie durch eine Bettung gegen Verkippen und Auseinander-Driften gesichert werden.

Der Durchlass wirkt auf das fließende Wasser wie ein Hindernis. Das bedeutet, dass das Wasser auf der Einlaufseite etwas aufgestaut wird und sich der Wasserstand erhöht. Durch den Durchlass schießt das Wasser dann sehr schnell. Dadurch wird im Auslaufbereich das Grabenprofil ausgespült und muss mit einer Steinschüttung gesichert werden.

Wie baut man einen Brunnen?

Die einfachste Bauweise, die allerdings sehr viel mühsame Arbeit erfordert, ist ein Schachtbrunnen. Diese Lösung funktioniert nur, wenn der Grundwasserspiegel nicht tiefer als ca. 6 m ansteht. Der Durchmesser eines solchen Brunnen ist 1 bis 1,5 m – sonst kann man nicht graben



– und man ist gut dran, wenn man Betonringe zur Verfügung hat, sog. Brunnenringe. Diese Ringe sind meistens 50 cm hoch, so dass man abschätzen kann, wie viele Ringe man benötigt. Zwei Ringe sollen über die Erdoberfläche hinausragen. Dann gräbt man unter dem Ring und innerhalb des Rings das Erdreich aus und der Ring rutscht allmählich tiefer. Dieses Hinabrutschen der Brunnenringe ist eigentlich eine Notmaßnahme. Schöner ist es, zunächst den ganzen Brunnen mit etwas größerem Durchmesser auszuheben und dann die Brunnenringe von unten nach oben aufzusetzen. Dann kann man auch darauf achten, dass der unterste Ring exakt gerade steht. Immer, wenn ein Ring eingegraben ist, soll man ein Tritteisen dazwischen schieben, damit der Brunnen zugänglich bleibt. Es gibt aber auch Brunnenringe, die bereits die Tritteisen enthalten. Wenn man den Wasserspiegel erreicht hat, muss man noch einen halben – besser einen ganzen – Meter tiefer hinunter. Dann kommt etwas Kies auf die Sohle. Bei diesen geringen Tiefen kann die Pumpe oben auf dem Brunnen stehen und das Wasser ansaugen. Wenn man keine Brunnenringe hat, muss man den Brunnen von unten nach oben mauern. Das ist viel umständlicher und erfordert zwischendurch eine Aussteifung der Baugrube. Hier lauern Gefahren, die man nicht unterschätzen soll! Wenn der Schacht auch nur 2 m tief ist und dann die Böschung einbricht, kann das lebensgefährlich werden.

Bild 8.5:
Großer Rohrdurchlass aus
Wellstahl



Rammbrunnen oder Bohrbrunnen?

Bei einem Bohrbrunnen wird zunächst durch ein Rohr hindurch gebohrt, wodurch das Brunnenrohr allmählich einsinkt. Die Brunnenrohre haben ein Gewinde und werden nach und nach zusammen geschraubt. Dabei ist es wichtig, dass sie am Gewindeende zusammen stoßen, damit beim Einschlagen die Gewinde nicht zerstört werden. Wenn das Grundwasser erreicht ist – das sollte spätestens in 7 m Tiefe der Fall sein – wird in das gesetzte Rohr ein kleineres Rohr hineingesteckt, das im unteren Teil perforiert und mit einem Filter umgeben ist. Dann wird der Zwischenraum zwischen den beiden Rohren mit Kies Korndurchmesser: erbsengroß verfüllt und das äußere Rohr wird herausgezogen. Eine vereinfachte Variante eines solchen Bohrbrunnens ist der Rammbrunnen, bei dem das später verbleibende Standrohr (mit Perforation und Filter, unteres Ende mit einem Konus verschlossen) in den Boden geschlagen oder gerammt wird. Man sieht aus dieser Beschreibung bereits, dass meistens maschinelle Hilfe nötig ist, dass man gewisse Hilfsmittel braucht und dass auch fachkundige Leute zur Stelle sein sollten.

KAPITEL 9

KLEINE BAUWERKE

Das Bauen nach oben fängt auch ganz unten an. Daher müssen wir uns noch einmal mit dem Boden beschäftigen.

Der Boden als Baugrund

Die Festigkeit eines Bodens beruht auf dem inneren Zusammenhalt („Kohäsion“) und der Reibung zwischen den Körnern. Diese Reibung hängt wiederum von der Kraft ab, mit der zwei Körner zusammen gedrückt werden. Wenn der Boden also durch ein Auto oder ein Haus belastet wird, entsteht durch das Gewicht desselben eine starke Kraft zwischen den Körnern – aber nur dann, wenn die Gewichtskraft nicht vom Wasser, das sich in den Poren befindet, getragen wird. Sehr nasser Boden ist also weniger standfest. Besonders bei bindigen Böden oder Moorböden gerät manchmal das Wasser unter Druck und wird ausgepresst. Dieser Vorgang kann sehr lange dauern und so lange wie er andauert, verdichtet sich der Boden und die Bodenoberfläche senkt sich ab, der Boden „setzt“ sich. Man nennt das Konsolidierung bzw. Konsolidation. Wenn eine Straße oder ein Haus gebaut werden soll, muss zunächst der humose Oberboden beiseite geschafft werden. Wenn darunter Sand ansteht, kann man mit den Befestigungsarbeiten beginnen. Wenn der Boden „binding“ ist, also im feuchten Zustand schmierig, klebrig, plastisch verformbar

und ausrollbar, muss weiter „ausgekoffert“ werden, nämlich tiefer und auch breiter. Ein nichtbindiger Baugrund kann durch Wasserzugabe und Vibrieren verdichtet werden, weil Wasser die Reibung zwischen den Körnern herabsetzt, also die Körner besser ineinander gleiten. Aber man darf nicht soviel Wasser dazu geben, dass das Wasser die Poren weitgehend ausfüllt, denn dann behindert es durch sein Volumen die Verdichtung. Die beste Baugrund-Verdichtung erreicht man durch Stampfen und Rütteln bei einem Wassergehalt, bei dem der Erdstoff etwas angefeuchtet ist. Ein Baugrund, der aus bindigem, d. h. also aus tonreichem Material besteht, lässt sich oft durch eine Zugabe von Kalk besser verdichten.

Fundamente

Fundamente sind ein sehr wichtiges Bauelement. Sie sorgen dafür, dass die Stützen, die Pfeiler, die Wände – oder was immer sie tragen – nicht durch deren Gewicht und Auflasten in den Baugrund gedrückt werden. Daraus ersieht man, dass auf festem Fels keine Fundamente nötig sind. Es wird einfach der verwitterte Teil des Felsen abgekratzt und eine ebene Standfläche geschaffen.

Jeden Baugrund, der nicht aus festem Fels besteht, nennen die Bauleute Lockergestein. Ich finde, dass das ein blödes Wort ist. Im Lockergestein also werden die Fundamente eingegraben. Wie tief muss man herunter graben? Auf alle Fälle bis unter die Tiefe, wo der Boden durch Humus dunkel gefärbt ist. Wenn man nun aber auf Moorboden bauen will, dann müsste man in manchen Fällen tiefer als 10 m graben. In diesen Fällen wird die Tragfähigkeit des Baugrundes durch Pfähle hergestellt, die bis in tragfähige Schichten reichen. Auch große Kirchen können auf solchen Pfählen stehen. In nördlichen Breiten kann Bodenfrost und Wiederauftauen zur Instabilität des Bodens führen. Deshalb sollte in nördlichen Breiten das Fundament unter die Frost-Eindringtiefe reichen.

Da Lockergestein unter Belastung nicht eine so hohe Festigkeit hat, wie eine Mauer oder eine Betonplatte, muss das Fundament eine größere Fläche als das spätere Haus überdecken.

Aus der Fundamentgrube – und sei sie auch nur ganz oberflächennah – wird alles lose Material entfernt und in die „gereinigte“ Grube Beton satt eingegossen, um eine gute Verbindung mit dem festen Erdreich zu bekommen (Bild 9.1). Um Pfeiler auf ein Fundament stellen zu können, genügt es, eine Fundamentgrube nach den obigen Regeln auszuheben und

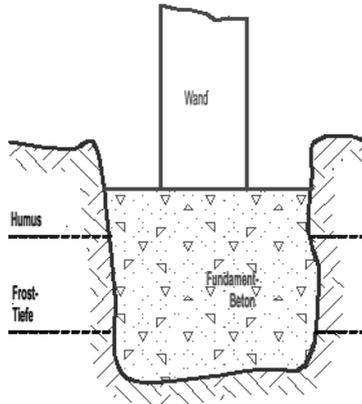


Bild 9.1:
Beton-Sreifen-
Fundament unter
Beton- oder
Mauerwerks-
Wand

mit etwas zähem, nicht flüssigem Beton zu verfüllen. In den Beton wird ein Zementrohr am geplanten Punkt senkrecht so tief eingedrückt, dass die Höhe des oberen Endes der geplanten Sollhöhe entspricht. Der Beton muss dafür so plastisch sein, dass er das Eindringen erlaubt, aber dann nicht mehr weiter nachgibt. Falls man nicht den Pfeiler durch Aufstecken weiterer Rohre hochziehen will, kann die gewünschte Höhe mit etwas Mörtel-Auftrag erreicht werden. Der Pfeiler kann nach Aushärten des Fundamentbetons durch Aufsetzen weiterer Rohre in die geplante Höhe erweitert werden.

An Stelle eines Rohres kann man auch einen Mauerstein auf die geplante Höhe eindrücken und später auf die geplante Höhe hochmauern. Dafür gibt es spezielle Pfeilersteine.

Rohre und Pfeilersteine sind beim Hochziehen kontinuierlich mit Mörtel zu verfüllen. Es ist empfehlenswert, mindestens einen Bewehrungsstahl in der Mitte einzulegen. Für hohe Pfeiler bemisst zwangsläufig ein Ingenieur die Bewehrung. Bilden die Pfeiler nur den niedrigen Sockel eines leichten Bauwerks, dann können die Stähle entfallen.

Um ein Bauwerk auf Sockel-Pfeiler stellen zu können, skizziert man sich mit Vorteil davor eine Absteckungsskizze (Bild 9.2). Die Absteckungsskizze enthält mindestens zwei rechtwinklig verlaufende Fluchtlinien, die mit Pflöcken abgesteckt werden. Die Länge der Fluchtlinien richtet sich nach der Grösse der Baute und nach dem Abstand zum Arbeitsplatz, damit sie einerseits die Arbeit nicht behindern und andererseits durch die Arbeitsvorgänge nicht zerstört werden. Die Fluchtlinien selbst können durch Latten, Schnüre oder Drähte auf dem Platz festgelegt werden. Von

1890 kg Zuschlagstoffe und 180 l Wasser ergeben 1 m³ Beton. Schnellstmöglich nach dem Mischen muss der Frischbeton eingebaut werden. Dabei darf er sich nicht entmischen. Deshalb darf er nicht weiter als 1 m irgendwo herunter fallen. Notfalls muss man eine Rutsche bauen. Immer, wenn 50 cm Beton eingebracht sind, muss verdichtet werden, damit eingeschlossene Luftblasen entfernt werden. Der Beton lässt sich natürlich leichter einbauen, wenn er dünnflüssig ist, aber dann ist seine spätere Festigkeit kleiner. Meistens muss man vor dem Betonieren die Form, die der Beton später haben soll, aus Brettern herstellen. Das ist die sog. Schalung. Die Bretter werden mit Öl behandelt, damit sie später leichter abgelöst werden können. Nach dem Einbau erstarrt der Beton, aber erst nach 28 Tagen erreicht er seine volle Festigkeit. Es ist wichtig, dass er während dieser Zeit feucht gehalten wird. Wenn man nicht dauernd Wasser aufsprühen kann, muss man mit einer Folie den Beton vor Austrocknung schützen. Beton hat eine hohe Druckfestigkeit, aber schon bei kleinen Zugbelastungen reißt er. Zugbelastungen können z. B. auftreten, wenn ein Pfahl aus Beton auf Biegung belastet wird oder ein Betonteil horizontal auf zwei Stützen ruht. Es gibt dann eine Biege- und eine Stauchseite. Diese wenigen Bemerkungen über Beton sind sehr stark vereinfacht. Die Herstellung und die Eigenschaften von Beton sind ein großes Wissensgebiet, über das Bauingenieure viel lernen.

Was beim Bauen zu beachten ist:

Jedes Bauwerk sollte folgende Eigenschaften haben:

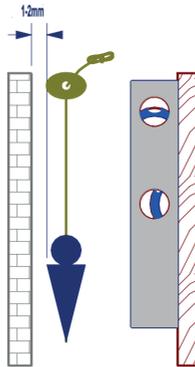
- Tragsicherheit
- Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit
- Wirtschaftlichkeit

Das Wichtigste ist dabei die Tragsicherheit, die Sicherheit vor Versagen des Werkes gewährleisten muss, d. h. im Extremfall Sicherheit vor Verlust der Tragfähigkeit, Sicherheit vor dem Einsturz.

Fast gleich wichtig ist die Gebrauchstauglichkeit. Sie ergibt sich zum Teil aus der Tragsicherheit. Falls ein Bauwerk zwar nicht einstürzt, aber so starke Verbiegungen aufweist, dass Türen nicht mehr schließen, oder Leitungen zerreißen oder abknicken, dann ist es möglicherweise nicht mehr gebrauchsfähig.

9 Kleine Bauwerke

Bild 9.3:
Senkblei
oder einfach
Senkel zur ver-
tikalen oder
senkrechten
Ausrichtung.
Die Wasserwaa-
ge kann sowohl
zur vertikalen
als auch zur
horizontalen
Ausrichtung
dienen.



Wir wenden uns hier ein paar Aspekten der Tragsicherheit zu, die zu beachten sind, wenn auch nur ein behelfsmässiges Gerüst zu bauen ist, auf das Menschen steigen.

Tragsicherheit – Stabilität

Auch wenn beim Erstellen eines Bauwerkes, etwa eines Gerüsts, eines Schuppens usw. die verfügbaren Materialien für Stützen, Balken und Streben die aus Erfahrung erforderlichen Abmessungen aufweisen, trägt das Befolgen der nachstehenden Regeln zur Tragsicherheit, zur Stabilität bei: Tragende Stützen müssen lotrecht stehen, d. h. sie sollten mit einem Senkblei, einer Wasserwaage errichtet oder im rechten Winkel zur Horizontalen erstellt werden (Bild 9.3). Eine Stütze, eine Wand (auch eine Bücherwand), die nicht im Lot, nicht im Senkel steht, trägt mit ihrem eigenen Gewicht zum Umfallen bei. Ein Gerüst, auch das eines Bauwerks besteht aus Stützen, Balken und Streben. Damit das Gerüst im Ganzen weder wacklig ist noch zusammen klappen kann, sind Streben einzubauen (Bild 9.4 links). Diese bilden zusammen mit Balken und Stützen ein Dreieck. Jede Stützenreihe muss in Richtung der Reihe mindestens eine Strebe erhalten, d.h. irgendwo eine Dreiecksverbindung haben. Dreiecke sind stabil. Davon kann man sich leicht selbst überzeugen, indem man ein Dreieck aus Latten bildet, dessen Ecken durch je eine Schraube oder einen Nagel gebildet werden. Daneben wird auf gleiche Weise auch ein Rechteck aus Latten gebildet. Das Rechteck lässt sich zu einer Raute oder gar ganz zusammen drücken, das Dreieck hingegen nicht.

Bild 9.4:
Stabilität durch
Dreieck-
bil-
dende Stre-
ben. Daneben:
Gefahr des
Knickens

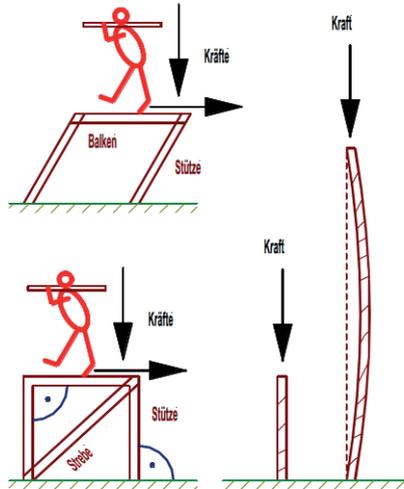
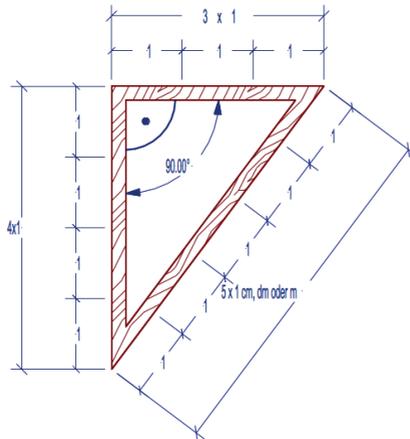


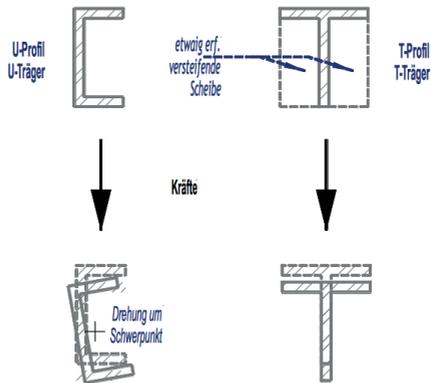
Bild 9.5:
Erstellen eines
rechten
Winkels



Die Dreiecke müssen nicht zwangsläufig rechtwinklig sein. Trotzdem ist es oft erforderlich, einen Rechten Winkel konstruieren zu können. Dazu konstruiert man ein Dreieck (z. B. aus geraden Schalungsbrettern), dessen Seiten aus 3, 4 und 5 Maßeinheiten (dm, m, selten, cm) bestehen (Bild 9.5).

9 Kleine Bauwerke

Bild 9.6: Die Besonderheit der U-Träger im Vergleich zu den T-Trägern



Eine Stütze mag eine Last problemlos tragen. Dies bedeutet jedoch nicht, dass eine Stütze, die einen gleichen Querschnitt aufweist, aber viel länger ist, auch die gleiche Last tragen kann. Möglicherweise knickt sie ein. Und zwar knickt sie umso eher ein, falls noch eine horizontale Kraft auf sie einwirkt. Diese Instabilität des Knickens kann auch ganze Wände, also nicht nur Stützen oder Stäbe erfassen. Dann spricht man von Beulen. Knicke und Beulen werden durch das Aussteifen mit zusätzlichen Streben verhindert. Im Stahlbau, aber auch im Betonbau und auch im Holzbau werden Balken verwendet, deren Querschnitt wie ein T aussieht. Sie heißen T-Träger. Ihr horizontaler Teil heißt Flansch. Ihr vertikaler Teil heißt Steg. Hat der Träger auch unten einen Flansch, so heißt er Doppel-T-Träger. Da der Träger eine Längsausdehnung hat, bildet der Steg eine Wand. Diese Wand kann bei starker Belastung beulen. Dies verhindert eine Versteifung durch zusätzliche Scheiben, die in gewissen Abständen den T-Querschnitt zu einem Rechteck bilden. Problematischer jedoch als T-Träger sind die U-Träger, da sie sich unter Last verwinden können, was auch von Ingenieuren nicht immer gleich erkannt wird (Bild 9.6). U-Träger werden zur Bildung von Zangen bzw. Longarinen für Spundwände verwendet und sind deshalb auf Gross-Bauplätzen vorhanden. Es liegt auf der Hand, dass unbenutzte Träger andere Verwendungen finden, z. B. als Träger vertikaler Lasten, was aufgrund der Verformung fatale Folgen haben kann.

KAPITEL 10

WASSERVERSORGUNG VON SIEDLUNGEN

Woher kommt das Wasser?

Das benötigte Wasser kann aus einem Speicherbecken stammen, das aus einem Fluss gespeist wird. Wenn der Fluss ständig Wasser führt und kein Speicherbecken vorhanden ist, ist es am einfachsten, an einem kurzen Seitengraben eine Pumpe zu installieren. Wenn man aber parallel zum Fluss in 50–100 Abstand vom Ufer mehrere Brunnen baut, wird durch die Bodenpassage die Wasserqualität erheblich besser sein. Diese Methode, genannt „Uferfiltration“, wird in Europa häufig benutzt. Wenn kein Fluss in der Nähe ist, kann man natürlich auch Wasser aus einem Brunnen entnehmen – in der Hoffnung, dass er immer Wasser führt.

Schließlich sollte von einer Regenwassergewinnung von der Dachfläche des Hauses Gebrauch gemacht werden. Wenn die jährliche Regenmenge z. B. 400 mm ist, also 400 Liter/Quadratmeter beträgt, dann ergibt ein Dach von 70 m² Größe einen jährlichen Wasseranfall von $70 \cdot 0.8 \cdot 400 = 22400$ Litern. Aus gesundheitlichen Gründen soll das von Bleidächern und Schifldächern abfließende Wasser nicht gesammelt werden. Die Abtrennung des Schmutzes erfolgt auf einfache Weise nach (Bild 10.1) dadurch, dass bei jedem Regen das erste Wasser nicht in den Tank gelangt. Ein extremer Fall von Wassermangel sind Siedlungen in Wüsten.

10 Wasserversorgung von Siedlungen

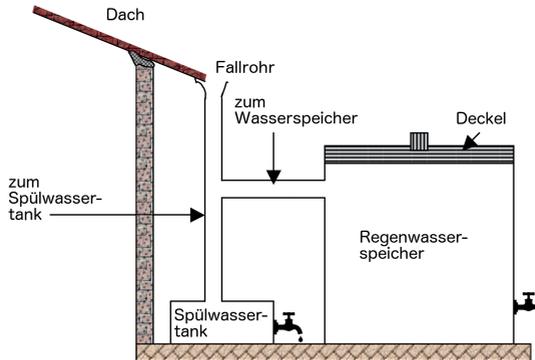


Bild 10.1: Eine einfache Konstruktion für das Auffangen und Speichern des Regenwassers von Dächern

Als Notmaßnahme kann die nächtliche Abkühlung benutzt werden, die besonders in hoch gelegenen Wüstengebieten sehr stark ist. Man kann dann Steinhäufen auf einer wasserundurchlässigen Folie benutzen, um aus dem nächtlichen Tau Wasser zu gewinnen. Diese sog. Luftbrunnen liefern in der Regel aber nur eine Wassermenge, die evtl. zum Trinken für eine Familie ausreicht.

Der Wasserbedarf beträgt in Deutschland durchschnittlich 120 l je Tag und je Einwohner. Darin ist eine kleine gewerbliche Nutzung enthalten, die Bewässerung von Gärten oder Rasen jedoch nicht. In weniger technisierten Ländern ist der Wasserverbrauch gewöhnlich erheblich niedriger, jedoch sollte mit mindestens 60 Litern gerechnet werden. Um stündliche und evtl. tägliche Bedarfsschwankungen auszugleichen, ist

eine Speicherung des aufbereiteten Wassers angenehm. Die technischen Anlagen dazu können entsprechende Firmen einrichten.

Wasseraufbereitung

Die vielen chemischen Grenzwerte, die in einem guten Trinkwasser eingehalten werden sollten, können hier nicht im Einzelnen besprochen werden. Das Wasser sollte jedoch

- klar sein
- geschmacklich einwandfrei und geruchlos sein
- bakteriologisch unbedenklich sein
- nicht radioaktiv sein
- nicht korrosiv sein oder die Armaturen und Waschbecken braun färben

Wenn immer es möglich ist, sollte eine Wasserprobe in einem Labor untersucht und beurteilt werden. Wenn z. B. das Wasser Nitrit enthält, kann es bei Säuglingen zu einer Auflösung des Blutes kommen. Dieses Beispiel soll zeigen, dass es unerwartete Gefahren gibt, die Vorsichtsmaßnahmen erfordern. Bedenke: Vorsicht ist nicht dasselbe wie Angst.

Die hier aufgezählten Aufbereitungsschritte für Trinkwasser sind bei kleinen Anlagen der dörflichen Wasserversorgung nicht immer oder nur teilweise erforderlich. Vor Ort muss entschieden werden, welche Maßnahmen auf Grund der Qualität des zur Verfügung stehenden Wassers nötig sind, um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen. Aber um zu zeigen, was getan werden könnte, werden hier die üblichen Aufbereitungsschritte kurz genannt. Und das sind

- Entgasung
- Flockung
- Filtration
- Desinfektion
- Entsäuerung, Aufhärtung
- Enteisung, Entmanganung
- Entfernung von Stickstoffverbindungen

Entgasung Um üble Gerüche zu beseitigen, lässt man das Wasser über Steine rieseln oder man versprüht es.

Flockung Durch Zusatz verschiedener Aluminium- oder Eisensalze kann eine Trübung des Wassers vermindert werden. Die notwendigen Salze können örtlich nicht gewonnen werden. Man muss also Salze und die Anwendungsvorschriften einkaufen.

Filtration Eine Filtration des Rohwassers wird in vielen Fällen zweckmäßig sein. Im einfachsten Fall sickert das Wasser durch einen Sandfilter, der ungefähr 1 m hoch ist. Je nach der Beschaffenheit des Filters sickern pro Tag durch jeden Quadratmeter 500 bis 2000 Liter Wasser. Wenn 100 Einwohner je 100 Liter Wasser pro Tag verbrauchen – das macht also 10 000 Liter – dann muss der Filter also vorsichtshalber eine Oberfläche von 20 Quadratmetern haben, viereinhalb Meter im Quadrat. Für die Filtration des Wassers ist die Oberfläche des Filters am wichtigsten. Hier sammelt sich Schmutz, aber gerade in dieser Schmutzschicht ist die Filtration am allerbesten. Mit der Zeit wird die Schmutzschicht dicker und undurchlässiger und es sickert weniger Wasser durch den Filter. Dann muss die oberste Schicht abgetragen werden. Danach ist die Filterwirkung eine Weile lang schlechter als vor dem Abtrag der Schmutzschicht, aber fließt wieder mehr Wasser durch den Filter.

Desinfektion In einem tropischen Klima muss Trinkwasser, das aus Teichen oder Speicherbecken stammt, desinfiziert werden. Dazu kann man Ozon benutzen oder das Wasser mit ultraviolettem Licht bestrahlen. Aber beide Methoden erfordern technische Apparate. Zugelassene Desinfektionsmittel sind Chlor und einige seiner Verbindungen. Natriumhypochlorit (hypochlorige Säure) ist für den menschlichen Körper ungiftig, aber gut zur Wasserdesinfektion geeignet. Die Desinfektion von infektiösem Wasser ist eine elementare Notwendigkeit, die jeden Aufwand rechtfertigt. Solange keine sichere Lösung in Betrieb ist, hilft das Kochen allen Trinkwassers und des Geschirrspülwassers, wobei auch alle Armaturen und Becken auf über 70°C erhitzt werden müssen. Das Thema der Wasserdesinfektion wird im Internet ausführlich behandelt und es werden eine Vielzahl von Verfahren, Substanzen und Geräten angeboten.

Entsäuerung Wasser kann durch Kohlensäure so sauer reagieren, dass Armaturen oder auch Zement angegriffen werden. Wenn die Entgasung von Kohlendioxid nicht ausreicht, um das Wasser zu neutralisieren,

kann man Wasserfilter aus Calciumkarbonat oder aus einem anderen basischen Material anwenden.

Enteisung und Entmanganung Die im Wasser häufig gelösten Eisen- und Manganverbindungen sind eigentlich nicht giftig, aber störend. Bei Kontakt zur Luft entstehen aus Eisenverbindungen, die im Wasser gelöst sind, unlösliche braune Ablagerungen, die scheußlich aussehen, alle Waschbecken verderben und die Wäsche färben. Abhilfe ist durch Belüften des Wassers möglich. Der braune Schlamm entsteht dann an einer Stelle, wo er leichter beseitigt werden kann.

Entfernung von Stickstoffverbindungen Häufig vorkommende Stickstoffverbindungen sind Nitrate, die aus der (übermäßigen) Verwendung von Düngemitteln stammen und auch durch die Mineralisierung der organischen Verbindungen nach Grünlandumbruch oder bei Waldrodungen in großer Menge gebildet werden. Nitrate sind selbst ungiftig, können aber in gesundheitsschädliche Verbindungen übergehen. Um den Nitratgehalt mit einfachen Mitteln zu vermindern, kann man das Wasser eine gewisse Zeit unter Luftabschluss halten (Anaerobe Denitrifikation). Hierbei muss im Wasser organische Substanz vorhanden sein. Notfalls kann man etwas Essigsäure hinzu fügen.

Insgesamt Die Kurzkenzeichnung der möglichen Aufbereitungsverfahren sollte zeigen, dass eine Eigeninitiative zur Wasserversäuerung mit einfachsten Mitteln nur eine erste Notmaßnahme sein kann. Im Wasser laufen eine Vielzahl von chemischen Reaktionen ab. Zu einer gezielten Wasseraufbereitung sind daher sowohl fundierte Fachkenntnisse als auch moderne Untersuchungsmethoden erforderlich.

KAPITEL 11

ABWASSERBEHANDLUNG, PFLANZENKLÄRANLAGEN

Die umweltschonende Abwasser-Entsorgung ist ein großes eigenes Fachgebiet, die Abwassertechnik. Anlagen zur Abwasseraufbereitung sollten wenn immer möglich von einer Fach-Firma ausgeführt werden. Mindestens sollte die Anlage von einem beratenden Ingenieur betreut werden. Man kann auf diesem Gebiet manches richtig, aber noch viel mehr leicht falsch machen. Die einfachsten Anlagen, die für einzelne Häuser oder kleine Dörfer geeignet sind, sind Pflanzenkläranlagen. Wenn vor die Anlage ein Rechen geschaltet wird, verbessert sich die Funktion der Anlage. Das bedeutet aber, dass der Rechen in gewissen Abständen mechanisch gereinigt werden muss. Die Pflanzenkläranlage besteht aus zwei Teilen, nämlich erstens aus einem Behälter, der groß genug ist, damit das Wasser langsam fließt oder mindestens zwei Stunden darin verweilt. Dann setzen sich die groben Teile ab und an der Sohle bildet sich ein Schlamm. Meistens muss nach einem Jahr oder so der Schlamm abgepumpt und auf eine Deponie zum Ausfaulen gebracht werden. Danach kann man den Schlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausbringen – jedoch nicht bei Grünland und auch nicht im Gemüsebau. Nach der mechanischen Vorreinigung lässt man das Abwasser in ein Beet fließen, das mit Sand oder Kies gefüllt ist und mit Schilf oder anderen Sumpfpflanzen bewachsen ist. Warum müssen es Sumpfpflanzen sein? Weil diese Pflanzen luftleitendes Gewebe haben, das dafür sorgt,

dass ihre Wurzeln auch dann mit Sauerstoff versorgt werden, wenn sie im Wasser stehen. Wie groß soll das Beet sein und wie tief muss man den Boden zuvor ausheben? Die technischen Vorschriften können hier nicht alle erklärt werden. Wenn man keine fachmännische Hilfe hat, kann man das Beet 2 m tief einrichten und für jeden Einwohner, der an die Anlage angeschlossen wird, 4 Quadratmeter Beetfläche vorsehen. Durch eine Vielzahl von chemischen und biologischen Prozessen wird nun das Wasser „biologisch“, wie man sagt, gereinigt. Das bedeutet, dass die organische Substanz zerlegt wird und die enthaltenen Mineralstoffe freigesetzt werden. Das so gereinigte Abwasser kann dann in einen Wasserlauf eingeleitet werden. Ein solche Anlage soll mindestens 25 m entfernt vom nächsten Wohnhaus stehen. Außerdem darf sie niemals von Hochwasser überflutet werden. Zum Problem kann eine massenhafte Vermehrung von Insekten werden. In den Ländern mit einer entwickelten Wasserwirtschaft gibt es eine Menge von Forderungen an solche Anlagen und es sind viele Vorschriften zu beachten. Aber eine selbst gebaute Anlage ist besser als keine.

Anstelle der biologischen Reinigung in einer technischen Anlage hat man früher in Deutschland das Abwasser für die Bewässerung von Feldern verwendet. Auf diese Weise nutzt man sowohl die Reinigungsfunktion des Bodens als auch die im Abwasser enthaltenen Pflanzennährstoffe. In Deutschland ist das heute nicht mehr üblich, aber wenn nur wenig Abwasser auf eine große Fläche aufgeleitet wird und das Grundwasser tiefer als 1.5 m unter Gelände ansteht, ist die Methode zumindest vorübergehend akzeptabel. Man lässt das Wasser am besten über die Felder rieseln. Aus hygienischen Gründen muss ein zeitlicher Mindestabstand zwischen der letzten Wasseraufleitung und der Ernte eingehalten werden. In dieser Zeit sollte einmal mit Klarwasser bewässert werden und es sollten auch etliche Sonnenscheinstunden in diesen Zeitraum fallen. Man ersieht daraus, dass man mehrere Flächen für die Abwasserbehandlung herrichten muss.

KAPITEL 12

ZUM SCHLUSS

Jeder der behandelten Aspekte des Themenkomplexes „Boden und Wasser“ repräsentiert ein eigenes Fachgebiet mit einer Fülle an Fachbegriffen, Methoden und Ergebnissen. Dies alles sollte und konnte hier nur aus der Perspektive eines Ballonfliegers gezeigt werden.

Landschaften reagieren in vielfältiger Weise auf das Klima. In den vorangegangenen Abschnitten sollte gezeigt werden, wie eine Vielzahl von Prozessen ineinander greift und am Ende die Landschaft ausbildet, die wir heute vorfinden. Tiere und Pflanzen passen sich diesen Bedingungen an, wirken aber auch landschaftsgestaltend. Wenn wir versuchen, dieses Wechselspiel immer besser zu verstehen, haben wir die Empfindung großer Schönheit und können schließlich das Ganze nur bewundern. Es ist nicht nur unausweichlich, sondern es ist auch gut und richtig, dass der Mensch versucht, in diesem System seinen Lebensunterhalt zu finden. Aber der Mensch sollte sich so verhalten, wie ein Gärtner. Wir müssen versuchen, die natürlichen Systeme unter dem Einfluss ihrer Nutzung durch den Menschen zu höherer Blüte zu bringen und dürfen ihre fundamentalen Funktionen nicht stören. Wir sollten die natürlichen Systeme aber nicht nur deswegen erhalten, weil wir sie nutzen wollen, sondern auch deshalb, weil sie so wunderbar und schön sind.

Wenn wir die gesamte Natur in ihrer Geschlossenheit wahrnehmen und uns dem, was ist, zugehörig fühlen, das heißt also, uns selbst als Teil

12 Zum Schluss

dieses Systems empfinden, wird sich daraus eine liebende Haltung gegenüber dem Boden und dem Wasser, insgesamt gegenüber den Ökosystemen ergeben. Diese Haltung verurteilt uns aber nicht zur Untätigkeit! Vielmehr wird sie uns darin bestärken, die für den Menschen unbedingt notwendigen Eingriffe in den Landschaftshaushalt so vorzunehmen, dass das Ökosystem in seinen Grundfunktionen erhalten bleibt.

KAPITEL 13

VERZEICHNISSE

Weiterführende Literatur

- Achtnich, Wolfram (1980). *Bewässerungslandbau: Agrotechnische Grundlagen der Bewässerungswirtschaft*. Stuttgart: Ulmer-Verlag.
- Bohne, K. (2005). *An Introduction into Applied Soil Hydrology – Lecture Notes in GeoEcology*. ISBN 3-923381-51-4. Cremlingen: Catena Verlag.
- Dyck, S. und G. Peschke (1995). *Grundlagen der Hydrologie*. ISBN 3-345-00586-7. Berlin: Ernst und Sohn.
- Hillel, Daniel (1992). *Out of the Earth*. ISBN 0-520-08080-7. Berkeley and Los Angeles: Univ. of California Press.
- Lange, G. und K. Lecher (1993). *Gewässerregelung – Gewässerpflege*. Berlin: Verlag Paul Parey.
- Smedema, L. K., W. F. Vlotman und D. W. Rycroft (2004). *Modern Land Drainage*. ISBN 90 5809 5541. Leiden: A.A. Balkema Publishers.
- Tulu, Taffa (2008). *Hydrologic Data Analysis and Water Harvesting Structures*. Aachen: Shaker Verlag.
- (2015). *Watershed Management Technologies for Climate Change Mitigation or Adaptation*. Kindle Edition. URL: <http://www.amazon.de/Watershed-Management-Technologies-Mitigation-Adaptation-ebook/dp/B011U6KD6S>.

Quellenverzeichnis

- Busch, Karl-Franz (1965). *Ingenieur-Taschenbuch Bauwesen*. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft.
- Haselsteiner, R. (2007). „Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung“. Diss. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München, Band 111.
- K.-F. Busch and W. Donnerhack (1971). *Landwirtschaftlicher Wasserbau (Bodenbewässerung)*. Hrsg. von TU Dresden. Lehrbriefe f. Fernstudium. Dresden.
- Peter, Benjamin (2010). *Kreuzungsbauwerke*. URL: http://www.gfg-fortbildung.de/web/images/stories/gfg_pdfs_ver/R_P/Wied_Saynbach/11_wied_v3.pdf.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

2.1	Wasserkreislauf	10
2.2	Afrika Klimazonen. Quelle: http://www.water-for-africa.org/de/duerrezonen.html	13
3.1	Bau eines Steinwalles Quelle: http://terra-verde.de/03-kontursteinwaelle.html	20
4.1	Grundwasserleitermodell	22
4.2	Oberirdische und unterirdische Wasserscheide	23
4.3	Seihwasserbildung	23
4.4	Grenzfläche Süßwasser-Salzwasser	25
6.1	Rundkroniges Wehr: zWo Höhe des Wasserspiegels ü. Bezugsbasis im Oberwasser, zWu Höhe des Wasserspiegels ü. Bezugsbasis im Unterwasser	34
6.2	Schematischer Aufbau eines Mönchsbauwerkes	35
6.3	Grabeneinstaubewässerung. Quelle: K.-F. Busch 1965, S. 929	36
6.4	Damm für Überstaubewässerung	37
6.5	Böschungswinkel und Böschungsneigung an einer Grabenböschung	37
6.6	Hangberieselungsrinne. Quelle: nach Busch 1971	37
7.1	Entwässerungssysteme: links Grabenentwässerung und rechts Dränung	46
7.2	Äste als Sickerhilfe in Drängräben	47
7.3	Befahrbare flache Entwässerungsgräben. Quelle: nach Smedema 2004, S. 111	49

Abbildungsverzeichnis

7.4	Beispiel für Befestigung der Dränausmündungen. Quellen: oben nach Smedema 2004, S. 84, unten Foto: Storchenegger	50
8.1	Möglichkeiten von Böschungsfussicherungen. Quelle: Busch 1965 S. 895	52
8.2	Hochwasserschutz-Flussdeich. Quelle: Haselsteiner 2007, S. 72	55
8.3	Kreuzungsbauwerke. Quelle: B. Peter 2010	56
8.4	Alter Plattendurchlass. Foto: Storchenegger	57
8.5	Grosser Rohrdurchlass aus Wellstahl. Foto: bb	58
9.1	Beton-Sreifen-Fundament unter Beton- oder Mauerwerks-Wand	61
9.2	Absteckplan für Pfeiler	62
9.3	Senkblei ... Wasserwaage.	64
9.4	Stabilität durch Dreieck- bildende Streben. Daneben: Gefahr des Knickens	65
9.5	Erstellen eines rechten Winkels	65
9.6	Die Besonderheit der U-Träger im Vergleich zu den T-Trägern .	66
10.1	Eine einfache Konstruktion ... Quelle: nach Taffa Tulu 2008, Foto: Taffa Tulu	68