



Verbesserung des Wasserkreislaufs und des Mikroklimas in der Landwirtschaft

Das Wasser verlangsamen und kultivieren, um den Boden zu befeuchten und zu kühlen.

1

Inhalt	
Das Wichtigste in Kürze	1
Klimawandel in der Schweiz	2
Wasserkreisläufe, Mikroklima und Landwirtschaft	2
Wasserkreisläufe	
Lokaler Wasserkreislauf	
Landwirtschaftliche Produktion und nutzbares Wasser	
Landwirtschaft und Mikroklima	
Den lokalen Wasserkreislauf wiederherstellen	7
Das «blaue» Wasser verlangsamen und «grünes» Wasser fördern	
Grundprinzipien und mögliche Massnahmen	
Auswahl der Massnahmen	
Fazit	14
Glossar	15
Quellen	15

Das Wichtigste in Kürze

- Hitzewellen, Überschwemmungen und Dürren stellen eine grosse Herausforderung für die Landwirtschaft dar. Diese Phänomene hängen grösstenteils mit einer Störung des lokalen Wasserkreislaufs aufgrund veränderter Landnutzung zusammen¹.
- Das in Böden und Pflanzen enthaltene «grüne» Wasser ermöglicht die Photosynthese und die Pflanzenproduktion. Es gelangt durch Evapotranspiration zurück in die Atmosphäre und speist so den lokalen Wasserkreislauf und den Niederschlag auf regionaler Ebene.
- Um den lokalen Wasserkreislauf zu regenerieren und das Mikroklima zu kühlen, muss die Qualität der Böden verbessert werden. Sie müssen Regenwasser aufnehmen und speichern können. Weiter sollen der Wasserabfluss verlangsamt, die Landschaften begrünt und Gehölze gepflanzt werden.
- Die Grundprinzipien lauten:
 - Den Boden bedecken, um ihn vor Regen und Hitze zu schützen und seine Durchlässigkeit zu erhalten;
 - Regen- und Oberflächenwasser verlangsamen, verteilen und versickern lassen;
 - Wasser in Böden und Landschaften speichern;
 - Begrünung und Pflanzung von Gehölzen zur Steigerung der lokalen Evapotranspiration, zur Schaffung eines kühlen und feuchten Mikroklimas und zur Bodenverbesserung.
- Diese Massnahmen verbessern die Wasserverfügbarkeit im Boden für Nutzpflanzen, fördern die Grundwasserneubildung und sichern die Trinkwasserversorgung.
- Die Wiederherstellung des lokalen Wasserkreislaufs trägt zur Stabilisierung der landwirtschaftlichen Erträge bei. Sie hilft bei der Bekämpfung des Klimawandels und reduziert unsere Anfälligkeit gegenüber Extremereignissen und dem Wechsel von Überschwemmungen und Dürren.

Klimawandel in der Schweiz

- Die Temperaturen sind in den letzten Jahrzehnten um 1,5 bis 2 °C gestiegen (2,9 °C seit der vorindustriellen Zeit)².
- Die Gesamtniederschlagsmenge hat sich kaum verändert, aber ihre Verteilung schon: Starkregen und Hagel treten generell häufiger auf, gleichzeitig sind die Sommer trockener geworden.

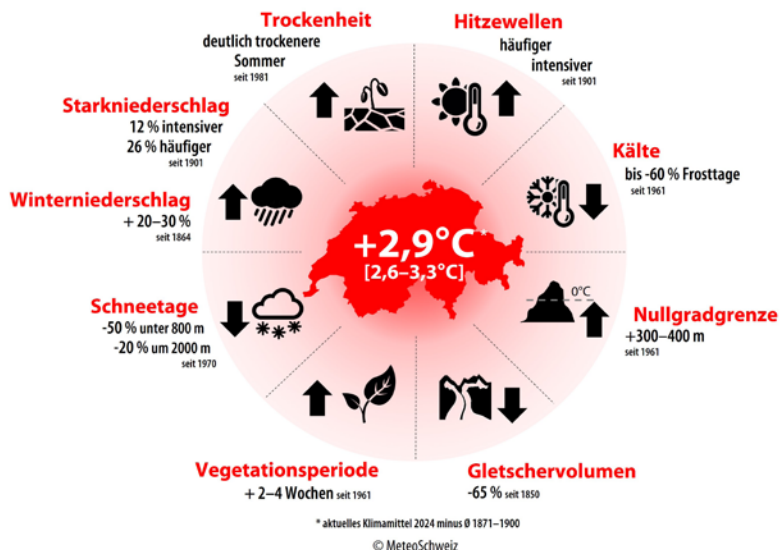


Abbildung 1: Wichtige Klimaveränderungen in der Schweiz basierend auf Beobachtungsdaten²

- Extreme Wetterereignisse haben zugenommen, und Hitzewellen treten häufiger und intensiver auf.
- Laut europäischen Klimaszenarien werden sich folgende Trends noch verstärken: Sommerdürren und häufigere und heftigere Gewitter³.
- Die Auswirkungen dieser Veränderungen auf die Ernteerträge sind unterschiedlich: Die Erträge bei Weizen dürften insgesamt stabil bleiben, während sie bei nicht bewässertem Mais wie auch beim Grünland zurückgehen dürften. Im Weinbau werden bestimmte Rebsorten, insbesondere weisse, keine Qualitätsweine mehr hervorbringen können³. Extreme Wetterereignisse schaden hingegen in der Regel allen Kulturen.
- Die kurz- und mittelfristige Planung wird aufgrund der Unsicherheit im Zusammenhang mit Wasserknappheit und extremen Wetterereignissen wesentlich komplexer werden.

Wasserkreisläufe, Mikroklima und Landwirtschaft

Wasserkreisläufe

Wasser durchläuft einen globalen und einen lokalen Kreislauf (Abbildung 2). Auf globaler Ebene ist der lokale Wasserkreislauf für mehr als 60 % der Niederschläge auf den Kontinenten verantwortlich⁴. Im Sommer spielt er eine noch bedeutendere Rolle: Die Evapotranspiration beeinflusst⁵ das Mikroklima und das Niederschlagsregime direkt.

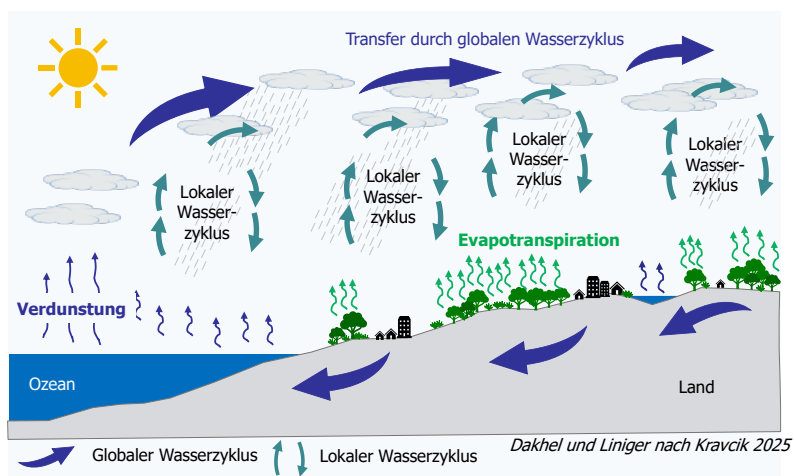


Abbildung 2: Der grosse und die kleinen Wasserkreisläufe (gemäss 6, abgeändert).

- Als «blaues Wasser» bezeichnet man Oberflächengewässer (Flüsse, Seen) und Grundwasser (Grundwasservorkommen). Es fliesst mehr oder weniger schnell und kann für die Bewässerung, die Industrie oder die Trinkwasserversorgung entnommen werden. Die direkte Verdunstung von Oberflächengewässern ist Teil des blauen Wasserflusses.
- «Grünes» Wasser ist das in Böden und Vegetation gespeicherte Wasser. Es ist kaum sichtbar, zirkuliert schnell durch die Pflanzen und kehrt durch Evapotranspiration in die Atmosphäre zurück. Es speist den lokalen Wasserkreislauf, befeuchtet und kühlt die Umgebung.

Die terrestrischen Ökosysteme haben sich so entwickelt, dass sie den Abfluss minimieren, Wasser im Boden und in Feuchtgebieten zurückhalten und die Transpiration der Pflanzen sowie die lokale Kondensation von Wasser (Regen und Tau) maximieren.

Lokaler Wasserkreislauf

Funktioneller lokaler Wasserkreislauf

- Das Wasser fliesst langsam durch die Landschaft und wird lokal und regional mehrfach recycelt.
- Die Vegetation mildert die Intensität des auf den Boden fallenden Regens und verlangsamt den Oberflächenabfluss, was das Versickern begünstigt: Es geht nur wenig Wasser durch Abfluss verloren.
- Die Böden wirken wie ein Schwamm und speichern einen Teil des versickernden Wassers. Der Überschuss speist das Grundwasser, welches Trinkwasser liefert und die Quellen und Feuchtgebiete versorgt.
- Dank Photosynthese produzieren Pflanzen ihre Biomasse. Dabei entziehen sie dem Boden Wasser und transpirieren.
- Die Photosynthese (endotherme Reaktion) kühlt die Blätter, während die Transpiration der Pflanzen die Umgebung befeuchtet.
- Durch Transpiration geben die Pflanzen bis zu 90 % des Wassers, das sie aus dem Boden aufgenommen haben, wieder an die Atmosphäre ab⁷. Gleichzeitig emittieren sie flüchtige organische Verbindungen und Bakterien, welche die lokale Kondensation von Wasser beschleunigen und begünstigen; Bäume emittieren mehr dieser sogenannten Kondensationskerne als krautige Pflanzen⁸.
- Eine abwechslungsreiche Landschaft mit Vegetation spendet Schatten und fördert die lokale Wasserkondensation, unter anderem aufgrund von Temperaturunterschieden. Eine mehrschichtige (oder abgestufte) Vegetation begünstigt die Wasserkondensation und die Wasserspeicherung.
- Die Vielfalt der Wurzeln (ausläuferbildend, faserig, Pfahlwurzeln) und der sie begleitenden Mykorrhizen ermöglicht einen besseren Zugang zu Wasser, strukturiert den Boden, lockert ihn auf und fördert das Versickern von Regenwasser.

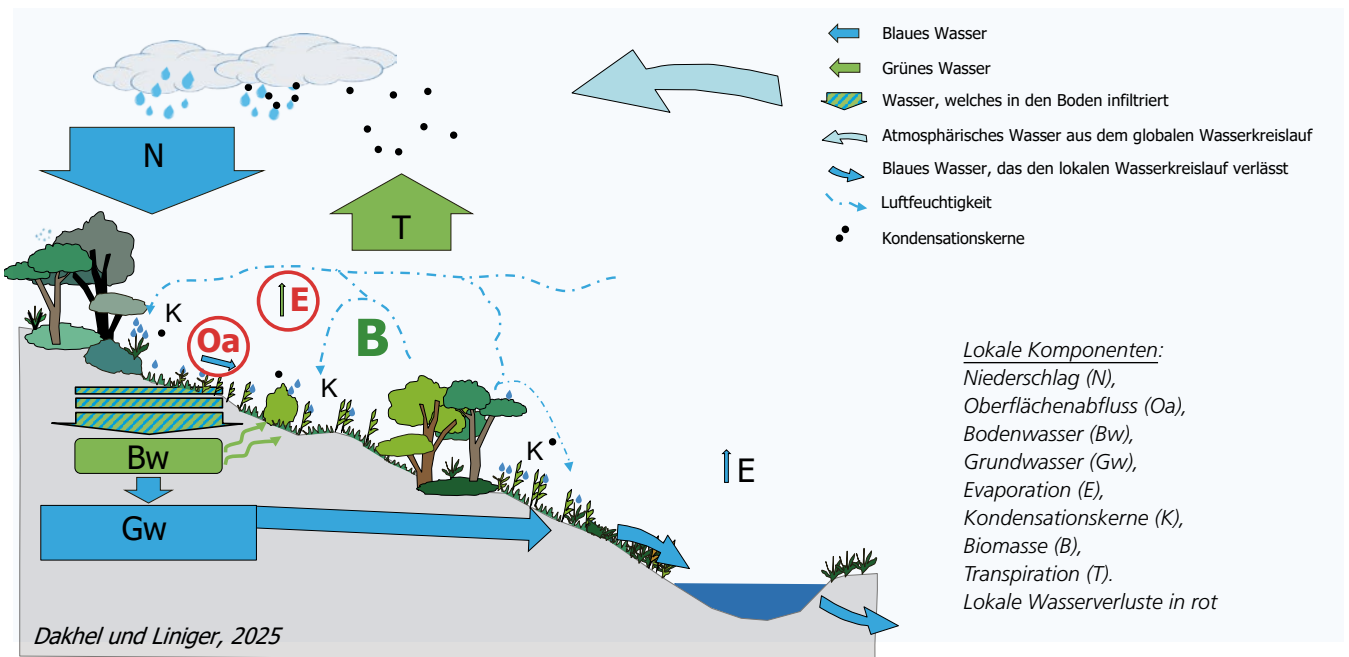


Abbildung 3: Funktioneller lokaler Wasserkreislauf

Gestörter lokaler Wasserkreislauf

Die Agrarlandschaft wurde seit Ende der 1950er Jahre massiv vereinheitlicht: Vergrößerung der Parzellen, Beseitigung von Hecken und Gehölzen, Entwässerung der Böden, Trockenlegung von Teichen und Feuchtgebieten. In intensiv bewirtschafteten Gebieten ist der Wasserkreislauf oft beeinträchtigt:

- Verringerung der Versickerung (verdichtete und/oder wenig poröse Böden).
- Erhöhung des Oberflächenabflusses und schnelle Ableitung des nicht versickerten Wassers über Schächte.
- Bodenentwässerung (20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz sind drainiert) und Ableitung des Wassers in Sammelkanäle.
- Entwässerung von Feuchtgebieten und Verrohrung kleiner Wasserläufe in landwirtschaftlichen Gebieten.
- Nackte Böden trocknen schnell aus und verlieren grosse Wassermengen durch direkte Verdunstung. Der Hitze und dem Regen ausgesetzt, werden solche Böden brüchig und sehr anfällig für Oberflächenabfluss (zusätzlicher Wasserverlust) und Erosion.
- Rückgang der Anzahl von Feldbäumen, Hecken und Gehölzen. Diese reduzieren den Oberflächenabfluss sowie die Erosion und begrenzen die Wirkung des Windes. Im Gegensatz zu einjährigen Pflanzen, transpirieren sie während der gesamten Vegetationsperiode.

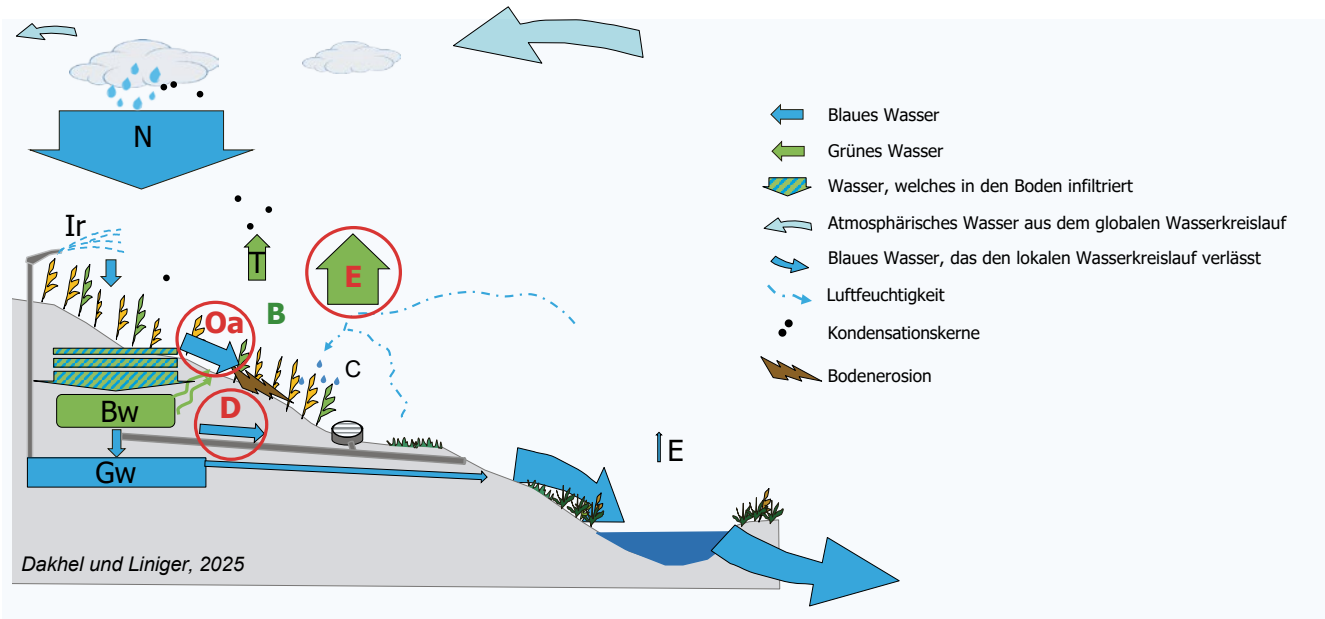


Abbildung 4: Beeinträchtigter lokaler Wasserkreislauf

Lokale Komponenten: Niederschlag (N), Ir (Bewässerung), Oberflächenabfluss (Oa), Bodenwasser (Bw), Grundwasser (Gw), Biomasse (B), Transpiration (T), Kondensation (K), Evaporation (E), Entwässerung/Drainage (D). In Rot dargestellt sind lokale Wasserverluste für die Landwirtschaft.

Wasserbilanz: $N + K + Ir = Oa + \Delta Bw + \Delta Gw + \Delta B + T + E + D$; Für Pflanzen verfügbares Wasser = $Bw = N + Ir + K - D - Oa - E$



Abbildung 5: Oberflächenabfluss und Entwässerung bedeuten Wasserverlust für die Landwirtschaft.

Unter diesen Umständen wird der lokale Wasserkreislauf beschleunigt und um eine grosse Menge Wasser reduziert, was zu einer Austrocknung der Böden führt. Auf regionaler Ebene führen die veränderte Bodennutzung, die Austrocknung der Böden und ihre Hitzeexposition zu einem Wechsel von Überschwemmungen und Dürren. Es sind dies die zwei Seiten derselben Medaille¹!

Landwirtschaftliche Produktion und nutzbares Wasser

Wasserspeicher in landwirtschaftlichen Böden

Die maximale Wassermenge, die ein Boden speichern und an Pflanzen abgeben kann, entspricht der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Etwa 50 bis 70 % dieses Wassers ist für Pflanzen leicht aufzunehmen (leicht nutzbare Feldkapazität (nFK I))⁹. Wenn keine Steine vorhanden sind, liegt die nutzbare Feldkapazität eines gut durchwurzelten Bodens zwischen 1 und 2.2 mm Wasser pro cm Tiefe, d.h. 1000 bis 2200 m³/ha für einen 1 m mächtigen Boden.

Die nFK hängt von den Eigenschaften des Bodens und der Verwurzelung der Pflanzen ab⁹. Einige Bodeneigenschaften werden durch die Bodennutzung verändert:

- Tiefe: Die Bodenerosion verringert die nFK irreversibel. Ein Verlust von 1 cm der Oberflächenschicht auf 1 ha verringert die nFK um mindestens 10 bis 22 m³.
- Struktur: Die Verdichtung des Bodens verringert seine Porosität und die nFK sowie die Wasserinfiltration und somit das Nachspeisungspotenzial der nFK.
- Wurzelbesiedlung: Die Verdichtung schränkt die Wurzelbesiedlung und den Zugang zu Wasser ein.
- Organische Substanz (OS): Sie fördert eine gute Bodenstruktur, verbessert die Wasserrückhaltung und erhöht die Wasserverfügbarkeit.

Die zu einem bestimmten Zeitpunkt im Boden verfügbare Wassermenge hängt vom Füllstand des Grundwasserspeichers ab. Dieser verändert sich im Laufe der Zeit aufgrund der Evapotranspiration und der Wassernachspeisung, welche hauptsächlich durch das Versickern von Regenwasser erfolgt.

Die Verteilung des Niederschlags zwischen Versickerung und Abfluss hängt von der Bodenstruktur ab, insbesondere an der

Oberfläche. Eine poröse und stabile Struktur ermöglicht die Versickerung von 100 bis 200 mm Regenwasser pro Stunde. Eine geschädigte Struktur (Bodenverkrustung, Verdichtung) hingegen schränkt die Versickerung von Regenwasser stark ein, was zu Oberflächenabfluss führt und die Wasserneubildung im Boden begrenzt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Struktur der Bodenoberfläche und Geschwindigkeit der Wasserinfiltration

a) poröse Struktur: > 100 mm/h, b) Verdichtungsschicht: < 10 mm/h, c) Verdichtung: < 1 mm/h

Im Sommer beträgt die potenzielle Evapotranspiration im Schweizer Mittelland bei Windstille etwa 4 bis 6 mm Wasser pro Tag:

- Ohne Regen ist in einem Boden mit geringer nFK (50 mm) das leicht nutzbare Wasser (nFK I) in weniger als 7 Tagen aufgebraucht.
- Ohne Regen ist in einem Boden mit hoher nFK (150 mm) das leicht nutzbare Wasser (nFK I) erst in 20 Tagen aufgebraucht.

Produktives Wasser und verlorenes Wasser

Durch Transpiration entziehen Kulturpflanzen dem Boden das für ihr Wachstum notwendige Wasser: Dies ist das «produktive» Wasser. Hingegen ist Wasser, welches abfließt oder aus dem Boden verdunstet, für die Landwirtschaft «verloren».

Durch Oberflächenabfluss verlorenes Wasser



Abbildung 7: Erosion ist ein Zeichen für einen gestörten Wasserkreislauf: Ein nackter oder kaum bewachsener Boden erodiert leicht unter dem Einfluss von Oberflächenabfluss.

Mit dem Klimawandel werden die Regenfälle intensiver und konzentrieren sich stärker auf einen bestimmten Zeitraum. Der zunehmende Oberflächenabfluss erhöht das Risiko von Bodenerosion und Schäden an Kulturen und Infrastrukturen. Er reduziert ebenfalls die Nachspeisung von Wasser in Böden und Grundwasser, was die Probleme im Zusammenhang mit Dürren verschärft.

Der Oberflächenabfluss hängt von der Bodennutzung ab. Abbildung 7 zeigt eine Rebbergschleife, auf der jede zweite Rebzeile begrünt ist: Der bewachsene Bereich weist keine Anzeichen von Erosion auf, während der Boden im unbegrünten Bereich erodiert ist. Die Bodenerosion zeugt vom Oberflächenabfluss und den damit verbundenen Wasserverlusten.

Wasserverlust durch Verdunstung



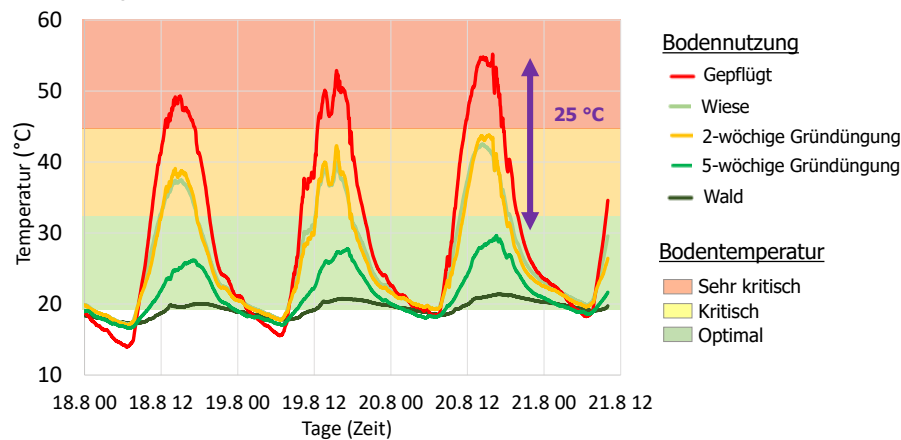
Abbildung 8: Ein nackter Boden trocknet schnell aus; die Wasserverluste durch Verdunstung sind im Schweizer Mittelland selbst im Frühling beträchtlich.

Die Verluste durch Verdunstung von nackten Böden sind in der Regel, von Ausnahmen abgesehen (Abbildung 8), unsichtbar. Diese Verluste werden in unseren gemässigten Regionen stark unterschätzt. Im Gegensatz zum Wasser, welches von der Vegetation transpiert wird, enthält das vom Boden verdunstete Wasser keine Bakterien, Sporen und organischen Verbindungen, die seine schnelle Kondensation begünstigen⁵.

Landwirtschaft und Mikroklima

Die Oberflächentemperatur hängt von der Bodennutzung ab

- Die Oberfläche eines gepflügten, unbewachsenen Bodens erreicht in heissen Jahren wie 2023 leicht 50°C, 60°C und sogar 70°C in Schwarzerdeböden¹⁰.
- Bei solchen Temperaturen trocknet der nackte Boden schnell aus, bestimmte Arten von Mikroorganismen können ihre Funktionen nicht mehr erfüllen oder sterben sogar ab.
- Die Anfälligkeit des Bodens wird durch die grossen Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht (≈ 40 6 °C) noch verstärkt. Der «ausgetrocknete» Boden nimmt Regen schlecht auf und wird sehr anfällig für Erosion.
- Eine gut entwickelte Vegetationsdecke beschattet und begrenzt die Erwärmung des Bodens.
- Abbildung 9 zeigt die Oberflächentemperaturen von Böden, die sich in geringem Abstand voneinander befinden: Eine fünf Wochen alte Gründung senkt die Temperatur im Vergleich zum nackten Boden um 25°C. Die Vegetation transpiriert, kühlt und befeuchtet die Umgebung, wodurch am Ende der Nacht der Taupunkt erreicht wird. Selbst in Trockenperioden wird so ein Teil des transpirierten Wassers lokal gesammelt.



Liniger und Askrabic, 2023

Abbildung 9: Temperatur an der Oberfläche landwirtschaftlicher Böden (Seedorf, BE, Sommer 2023)¹¹. Die kontinuierlichen Messungen wurden vom 18.08.2023 um Mitternacht (0) bis zum 21.08.2023 um 12 Uhr mittags (12) durchgeführt; die durchschnittliche Lufttemperatur um 14 Uhr betrug etwa 35 °C¹⁰.

- Selbst in kühleren Jahren wie 2024 (Abbildung 10)¹² wird die Oberfläche eines nackten Bodens extrem heiss, heisser als die von Asphalt!

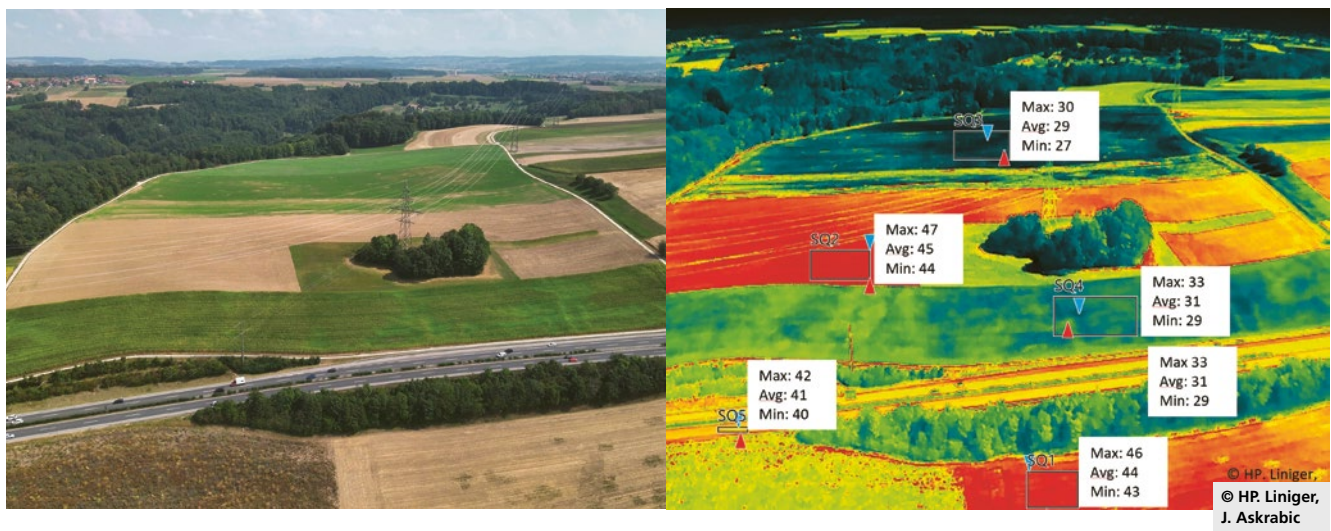


Abbildung 10: Luftaufnahme von landwirtschaftlichen Flächen, aufgenommen am 30. August 2024 um 14:40 Uhr in Bavois, VD (Lufttemperatur: 30 °C). Rechts: ein Wärmebild des gleichen Gebiets zeigt die Unterschiede in der Oberflächentemperatur.

Die Oberflächentemperatur hängt von der Bodenfeuchtigkeit ab

- Ein trockener Boden leitet die Sonnenenergie an die Umgebung weiter, wodurch die Lufttemperatur ansteigt (fühlbarer Wärmefluss). In einer feuchten Umgebung absorbiert die Evapotranspiration dank der Veränderung des Aggregatzustandes des Wassers einen Grossteil der Sonnenenergie (latenter Wärmefluss) (Abbildung 11)¹³.
- Je nach Feuchtigkeit und Umgebungsbedingungen kann der Boden als Klimaanlage oder Heizkörper fungieren (Abbildung 12)¹⁴. Laut europäischen Satellitendaten sind die Böden Westeuropas in den letzten 20 Jahren jedoch stark ausgetrocknet, was die globale Erwärmung verstärkt und beschleunigt¹⁵.

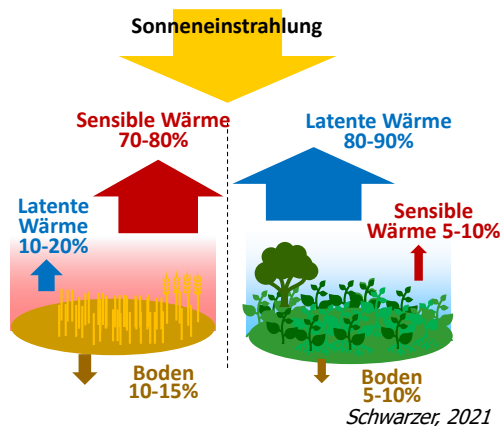


Abbildung 11: Verteilung der Sonnenenergie in zwei Landschaftstypen¹³.

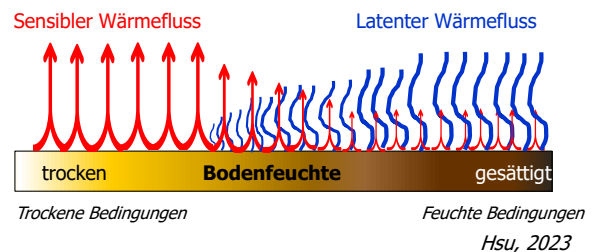


Abbildung 12: Einfluss der Bodenfeuchte auf sensible und latente Wärmeflüsse (siehe Glossar)¹⁴.

Den lokalen Wasserkreislauf wiederherstellen

«Blaues» Wasser verlangsamen und «grünes» Wasser kultivieren

Eine Landschaft, in der das Wasser langsam fließt und lange verbleibt, gleicht Klimaschwankungen (Temperatur, Trockenheit) aus und ermöglicht eine regelmässige Versorgung der Kulturen. Ein lebendiger Boden wirkt wie ein Schwamm, speichert Wasser und gibt es leicht wieder ab. Eine Vegetation, die transpiert, kühlt und die Umgebung befeuchtet, fördert die lokale Kondensation von Wasser, verlangsamt den Wasserfluss, nährt und schützt den Boden. Pflanzen sind die Motoren des grünen Wasserkreislaufs und Böden sind der Schwamm, aus dem sie schöpfen.

Um den lokalen Wasserkreislauf wiederherzustellen, müssen drei Aspekte berücksichtigt werden (Abbildung 13):

- Die Böden und ihre Fähigkeit, Regenwasser aufzunehmen;
- Wasser und seine Dynamik auf der Ebene der Parzelle, des Betriebs und des Einzugsgebiets;
- Einjährige und mehrjährige Vegetation.



Abbildung 13: Wiederherstellung des Wasserkreislaufs durch Überlegungen zum Boden, zu den Wasservegen sowie zur Vegetation und zu den Gehölzen (modifiziert nach¹⁶)

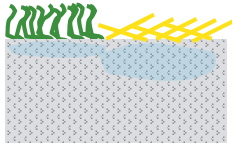
Die Wiederherstellung des lokalen Wasserkreislaufs erfordert eine Kombination aus agronomischen und hydrologischen Massnahmen, die unter folgenden Schlagwörtern zusammengefasst werden können: Bedecken, Verlangsamen, Infiltrieren, Speichern, Transpirieren (modifiziert nach 7 und 16):

- Den **Boden bedecken**, um ihn vor Erosion, übermässiger Hitze und Austrocknung zu schützen und seine Durchlässigkeit zu erhalten;
- Unter- und oberirdische Wasserbewegungen **verlangsamen**, Oberflächenabfluss begrenzen;
- Wasser versickern (**infiltrieren**) lassen, um die Grundwasserneubildung zu fördern;
- Wasser in Böden, Grundwasser, Landschaften und Vegetation **speichern** und sammeln;
- **Transpiration**: begrünen, um den lokalen Wasserkreislauf zu nähren, die Umgebung zu kühlen und die Verdunstung zu reduzieren.

Für jedes dieser Prinzipien können zahlreiche Massnahmen umgesetzt werden. Sie werden entsprechend den natürlichen Gegebenheiten (Klima, Topografie, Hydrologie, Boden und geologischer Untergrund), dem landwirtschaftlichen Kontext (Betriebsstruktur, Produktionsart) und den angestrebten Zielen ausgewählt.

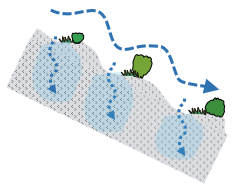
Grundprinzipien und mögliche Massnahmen

Den Boden bedecken, um ihn vor Erosion, Hitze und Austrocknung zu schützen



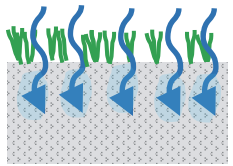
- Förderung einer dichten Vegetationsdecke: Zwischenfrüchte, Staffelnkulturen, Untersaaten, Streifenaussaat, Direktsaat.
- Nach der Ernte direkt eine vielfältige Bodenbedeckung aussäen.
- Bei fehlender Vegetationsdecke: Mulch/Streu liegenlassen oder ausbringen.

Das Abfliessen von Wasser verlangsamen, um dessen Versickerung zu fördern



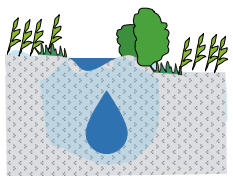
- Abfolge verschiedener Kulturtypen entlang der Hänge anstreben, um die «Rauheit» der Landschaft zu erhöhen.
- Entlang der Höhenlinien arbeiten (Keyline-Prinzip) oder senkrecht zum Hang.
- Stets zuoberst am Hang mit der Begrenzung der Fliessgeschwindigkeit des Wassers beginnen. Bei bewaldeten Hängen sollte der Wald in die Überlegungen zur Wasserwirtschaft einbezogen werden, da Wasser häufig aus bewaldeten Gebieten austritt.
- Die Länge der Wasserwege auf landwirtschaftlichen Parzellen verkürzen: Fruchtwechsel, Grasstreifen, hydrologische Massnahmen (Mulden, Versickerungsgräben), Anpflanzung von Hecken oder Baumreihen.

Wasser versickern lassen, um den Boden und das Grundwasser zu versorgen



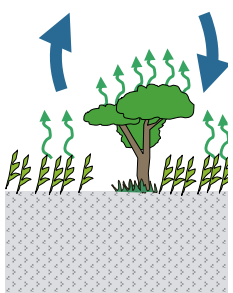
- Eine poröse und stabile Bodenstruktur fördern.
- Die Bodenverdichtung (Maschinengewicht) begrenzen, gegebenenfalls ist eine Untergrundlockerung parallel zu den Höhenlinien nötig, um Wasser in den Boden eindringen zu lassen und zu verteilen.
- Reduzierung von Bodenbearbeitungsmassnahmen, die eine zerstörende Wirkung auf die Bodenstruktur haben: reduzierte, weniger häufige und weniger intensive Bearbeitung.
- Gewährleistung einer guten Porosität: Förderung der biologischen Aktivität des Bodens (vielfältige Pflanzendecke, organischer Dünger, Kompost) und Erhalt lebender Wurzeln.

Wasser in Böden, Vegetation und Landschaften speichern und kultivieren



- Der Boden ist ein lebender Schwamm, dessen Wasserspeicherfähigkeit, erhalten und verbessert werden muss: Erosion und Verdichtung begrenzen, Bodenstruktur und -stabilität verbessern und die biologische Aktivität fördern.
- Maximierung und, soweit möglich, Diversifizierung der lebenden pflanzlichen Biomasse. In ihrem Gewebe speichert sie Wasser, nährt den Boden und macht ihn poröser.
- Temporäre (Streuflächen, Tümpel) oder permanente (Teiche, Wasserreservoirs) Feuchtgebiete anlegen/erhalten. Wenn möglich, kleine unterirdische Bäche wieder freilegen.
- In bestimmten Fällen kann Wasser von Dächern oder Wegen aufgefangen werden, um einen Teich oder ein Feuchtgebiet zu speisen, das als Reserve für die Bewässerung von Kulturpflanzen oder dem Tränken von Vieh dienen kann.

Pflanzliche Transpiration zur Kühlung des Mikroklimas und zur Speisung des lokalen Wasserkreislaufs

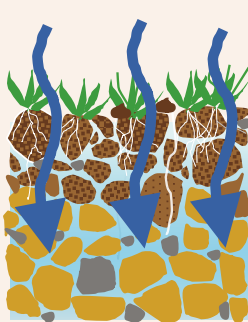


- Eine grüne Vegetation erhalten, die so lange und so regelmässig wie möglich transpiriert.
- Heckenlandschaften wiederherstellen und Bäume und Sträucher im landwirtschaftlichen Gebiet anpflanzen: Feldbäume, Ländliche Bäume, Hecken, Agroforstwirtschaft.
- Eine heterogene Vegetation wählen, um die Kondensation des transpirierten Wassers zu fördern.

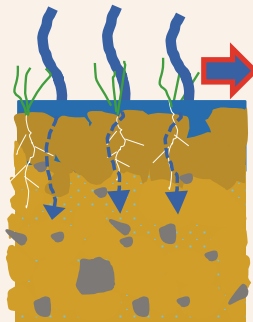
Verbesserung der Bodenfunktion

Wasserhaushalt

Die Fähigkeit eines Bodens, Regenwasser zu speichern und in ausreichender Menge an die Pflanzen abzugeben, hängt von seinen physikalischen Eigenschaften (Tiefe, Wasserspeicher, Porosität, Durchlässigkeit), aber auch von bestimmten physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften ab. Generell gilt, dass physikalische, chemische und biologische Boden Aspekte miteinander zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen. Die lebenden Organismen im Boden, einschliesslich der Pflanzenwurzeln, verbessern die Porosität des Bodens und somit die Versickerung des Wassers. In Kombination mit einem ausreichenden Gehalt an organischen Stoffen und Kalzium sorgt dies für eine gewisse Stabilität der Bodenstruktur und ihrer Porosität. Um den Wasserhaushalt eines Bodens zu verbessern, müssen einige dieser Eigenschaften erhalten oder verbessert werden.



Boden porös und durchlässig: Wasser versickert.



Boden wenig porös und durchlässig: Wasser fließt ab.

Die Bodenerosion begrenzen und die Porosität und Durchlässigkeit des Bodens verbessern

- Mindestens 40 % der Bodenfläche mit einer Bodenbedeckung (Vegetation, Mulch) versehen¹⁷
- Eine poröse und stabile Struktur fördern:
 - Das Vorhandensein lebender, vielfältiger Wurzelsysteme fördern und sichern;
 - Verdichtung reduzieren: Nicht auf nassem Boden arbeiten, Maschinengewicht begrenzen, nicht in Pflugfurchen fahren. Bei Bedarf verdichtete Bereiche durch Untergrundlockerung beseitigen, wenn der Boden krümelig (nicht feucht) ist. Die Zinken des Geräts müssen bis zum Grund der verdichteten Stelle reichen, was eine Bestimmung der Tiefe des Problems erfordert (Spaltenprobe oder kleines Bodenprofil graben);
 - Bodenbearbeitung reduzieren und in ihrer Intensität limitieren (Einsatz von rotierenden Geräten mit Zapfwellenantrieb begrenzen), Begrenzung der Arbeitstiefe;
 - Die organische Substanz (OS) und den Kalziumgehalt des Bodens managen.
- Parzellenlänge begrenzen, um das Volumen und die Intensität des Oberflächenabflusses zu limitieren. Ab einer Länge von 50 m kommt es bei unbedecktem oder nur geringfügig bedecktem Boden in der Regel zu Erosionsschäden¹⁷.

Aufrechterhaltung guter chemischer und biologischer Bedingungen

- Das Vorhandensein lebender, vielfältiger Wurzelsysteme fördern und sichern.
- Vermeiden, dass unbedeckter Boden dem Regen und starker Hitze ausgesetzt wird.
- Den Boden und seine Organismen ausgewogen ernähren: gemeinsame Rückführung von reifen, zellulosehaltigen Pflanzenresten (Stroh) und unreifen, zuckerhaltigen Pflanzenresten (Gründüngung)¹⁹.
- Einen ausreichenden Gehalt an organischer Substanz sicherstellen, idealerweise mit einem Verhältnis von organischer Substanz zu Ton von > 17 %¹⁸: Ausreichend Ernterückstände zurücklassen und/oder Mist ausbringen. Wenn möglich, Stroh nicht abtransportieren.
- Förderung des Humifizierungsprozesses durch Bodenpilze. Diese werden durch das Vorhandensein reifer Pflanzenreste begünstigt und durch Fungizide und intensive Bodenbearbeitung beeinträchtigt.
- Einen ausreichenden Kalziumgehalt sichern, um den Zusammenhalt von Ton und humifizierter organischer Substanz zu gewährleisten, gegebenenfalls kalken.
- Mykorrhizen fördern: übermässige Mineraldüngung vermeiden¹⁹.

Reduzierte Bodenbearbeitung, konservierende oder regenerative Landwirtschaft

Mehrere Bewegungen haben gemeinsam, dass sie eine Reduzierung der Bodenbearbeitung, eine maximale Bodenbedeckung und die Verlängerung und Diversifizierung der Fruchtfolge befürworten.

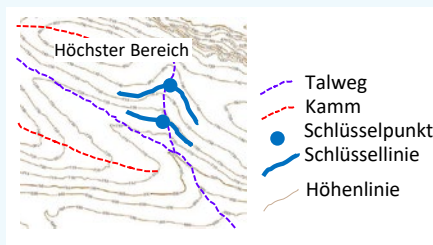
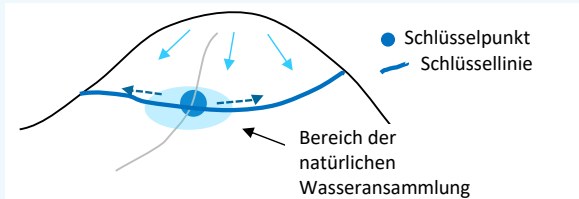
Diese Praktiken, die besonders wirksam zur Bodenverbesserung beitragen, bringen auch zahlreiche Herausforderungen mit sich: Schwierigkeiten bei der Bekämpfung von Unkraut und Schädlingen, Investitionen in Material, Änderung der Fruchtfolge und, zu Beginn, geringere Erträge. Eine Übergangsphase von einigen Jahren ist erforderlich; Beobachtung, Schulung und Erfahrungsaustausch sind unerlässlich. Einmal eingeführt, verbessern diese Techniken die Wasserinfiltrationsfähigkeit der Böden, die Wurzelbesiedlung und in den meisten Fällen auch die Wasserrückhaltefähigkeit des Bodens (nFK)^{20,21}. In der Regel sind sie auch aus wirtschaftlicher Sicht vorteilhaft.

In der Schweiz zeigen die Untersuchungen auf dem Oberacker (Rütti, BE), dass ein mit Direktsaat bearbeiteter Boden mehr verfügbares Wasser für die Kulturen aufweist als ein gepflügter Boden (Durchschnitt der Messungen von 1998 bis 2005)²².

Wasserwege gestalten

Keyline-Design

Dieses System basiert auf dem Verständnis der Geländebeschaffenheit und der Art und Weise, wie Wasser darin fließt. Das Ziel besteht darin, den Wasserabfluss zu verlangsamen, um die Versickerung in den Boden zu maximieren. Von Natur aus fließt Wasser über die Kämme ab und sammelt sich in den Tälern. In einer Landschaft entspricht der Ort, an dem das Gefälle abflacht und das Wasser langsamer fließt, einem Schlüsselpunkt (keypoint)⁷. Die Schlüssellinie oder Keyline ist die Höhenlinie, die durch einen Schlüsselpunkt verläuft.



Schlüsselpunkte können anhand von topografischen Karten und Geländebeobachtungen identifiziert werden. Schlüssellinien können mithilfe von topografischen Karten und einem GPS-Gerät oder einfacher mit einem A-Frame-Level (Nivelliergerät) vor Ort gezogen werden.

Entlang der Schlüsselpunkte und -linien können verschiedene Massnahmen umgesetzt werden, um das Wasser zu verlangsamen:

- Anbau entsprechend den Höhenlinien und Anpflanzung von mehrjähriger Vegetation entlang bestimmter Schlüssellinien.
- Unterirdische Bodenbearbeitung entlang der Höhenlinien, um das Versickern des Wassers zu fördern und es im Boden zu verteilen.
- Versickerungsgräben entlang bestimmter Schlüssellinien und temporäre Tümpel/Mulden an bestimmten Schlüsselpunkten.

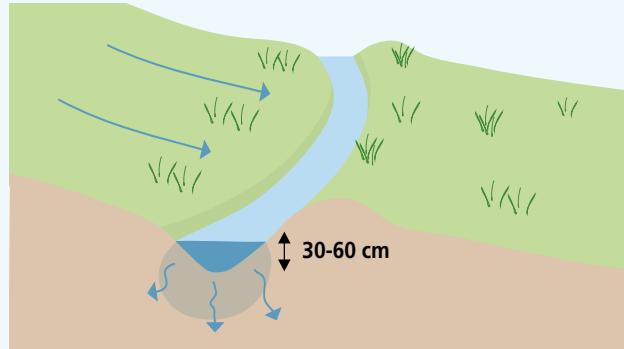
Hydrotechnische Massnahmen

Sie dienen dazu, das abfließende Wasser aufzufangen, vorübergehend zu speichern und versickern zu lassen oder es zu verlangsamen und abzuleiten. Art und Grösse der Einrichtungen werden entsprechend der Neigung des Geländes, der zu erwartenden Wassermenge, der Durchlässigkeit des Bodens und dem verfügbaren Platz ausgewählt. Die Ableitung von überschüssigem Wasser, auch bei aussergewöhnlichen Niederschlägen, muss im Voraus klar festgelegt werden. Eine regelmässige Wartung ist für ihr Funktionieren unerlässlich.

Versickerungsgräben (mit oder ohne Gefälle)

Flache Vertiefung oder Graben (30–60 cm), der entlang der Höhenlinien ausgehoben wird, um Oberflächenwasser aufzufangen und versickern zu lassen. Der Aushub wird hangabwärts zu einem Wall (untere Grabenböschung) aufgeschüttet.

Die gesamte Anlage ist begrünt (Grasbewuchs am Grabengrund, Bäume oder Sträucher auf dem Randstreifen). Da kein Gefälle vorhanden ist, muss der Abfluss von überschüssigem Wasser im Randstreifen vorgesehen werden.



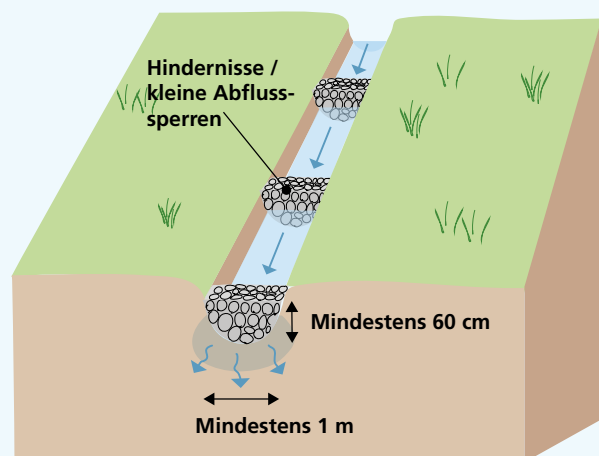
Versickerungsgraben (modifiziert gemäss Literatur Nr. 7)



Baumreihe hangabwärts eines Versickerungsgrabens

Versickerungsgräben können auch ein leichtes Gefälle aufweisen (Gefälle des Grabengrundes 1–3 %), wodurch das Wasser zu einem Abfluss (Bach, Teich usw.) geleitet wird. Das weite Profil erleichtert die Pflege⁷.

Graben mit Fliesshindernissen



Graben mit Fliesshindernissen (modifiziert gemäss Literatur Nr.7)

Graben mit kleinen Hindernissen/Abflusssperren, sogenannten Redenten, bestehen oft aus aufgeschichteten Steinen und verlangsamen den Wasserabfluss, so dass das Wasser in einen Abfluss geleitet wird und gleichzeitig besser versickern kann.



Graben mit Fliesshindernissen

Im Gegensatz zu Versickerungsgräben werden sie in Hangrichtung gegraben und sind oft tiefer als breit.

Die Einrichtung dieser Anlagen bringt mehrere Herausforderungen mit sich: Verringerung der Anbaufläche, Wartung, Hindernis für die Mechanisierung, Kosten. Je nach Umfang ist eine Genehmigung erforderlich. Standort, Grösse und Gestaltungsart müssen an die jeweilige Situation angepasst werden (Topografie, Bodenart, Mechanisierung, Produktionsart, Bedarf usw.). Einmal installiert, regulieren diese Systeme den Wasserfluss auf den landwirtschaftlichen Parzellen sehr effizient.

Begrünung und Pflanzung von Bäumen und kleineren Gehölzen

Pflanzendecke in Zwischen- und Folgekulturen

- Zwischenfrüchte (Gründüngung oder Futterpflanzen) füllen die Zeiträume zwischen den Hauptkulturen. Sie bieten eine Vielzahl von Vorteilen: Schutz des Bodens vor Erosion und starker Hitze, Verbesserung der Bodenporosität, Zufuhr von organischen Stoffen usw. Idealerweise sollten die Deckfrüchte unmittelbar nach der Ernte ausgesät werden, um die Restfeuchtigkeit des Bodens zu nutzen.
- Staffelpflanzen: Zwei Kulturen wachsen während einer gewissen Zeit gleichzeitig auf derselben Parzelle. Die Saat und die Ernte der verschiedenen Kulturen erfolgen jedoch zeitlich gestaffelt. Die zweite Kultur wird in zuvor angelegte Streifen in die erste Kultur eingesät. Diese Anbaupraxis ist in Europa noch wenig verbreitet und wird derzeit in der Schweiz getestet²³.

Agroforstwirtschaft

In der Schweiz gibt es eine Vielzahl von Agroforstsystemen. Neben traditionellen Systemen wie Waldweiden oder Kastanienesseln nimmt seit einigen Jahren die Zahl der silvoarablen oder silvopastoralen Systeme zu²⁴. Auch Hecken gehören zu den Agroforstsystemen. In der Schweiz handelt es sich dabei vor allem um Hecken zur Förderung der Biodiversität. Heckenlandschaften, wie sie beispielsweise in Frankreich existieren, waren früher weit verbreitet, sind heute jedoch sehr selten.

Die Auswirkungen der Agroforstwirtschaft auf das Mikroklima einer Parzelle oder sogar einer Landschaft variieren je nach System und ausgewählten Arten. Im Allgemeinen sind Bäume und Sträucher, die in Reihen in landwirtschaftlichen Gebieten gepflanzt werden, nicht nur ästhetisch, sondern bieten auch zahlreiche Vorteile^{25, 26}:

- Milderung extremer Temperaturen und Kühlung der Umgebung (Schatten, Feuchtigkeit).
- Windschutz und Verringerung der Winderosion: Eine halbdurchlässige Reihe von Bäumen und Sträuchern reduziert die Windgeschwindigkeit bis zu einer Entfernung, die dem 20-fachen ihrer Höhe entspricht.
- Begrenzung der Erhitzung von Kulturpflanzen und Verringerung der Evapotranspiration um bis zu 30 %²⁵.
- Verlangsamung des Wasserabflusses und Verbesserung der Versickerung. Verringerung der Wassererosion.
- Rückführung organischer Stoffe (Blätter, abgestorbene Wurzeln), Förderung des Bodenlebens und Humusbildung; Stabilisierung der Bodenstruktur und Verbesserung der Wasserinfiltrations- und -rückhaltefähigkeit.

- Die Wurzeln von Gehölzen nehmen Wasser und Nährstoffe aus den tiefen Bodenschichten auf (für einjährige Kulturen nicht zugänglich) und führen sie nah an die Oberfläche.
- Netzwerk von Mykorrhizen, dessen Dichte mit der Artenvielfalt zunimmt. Dank der Mykorrhizen können die Pflanzen Wasser und Mineralien besser aufnehmen.

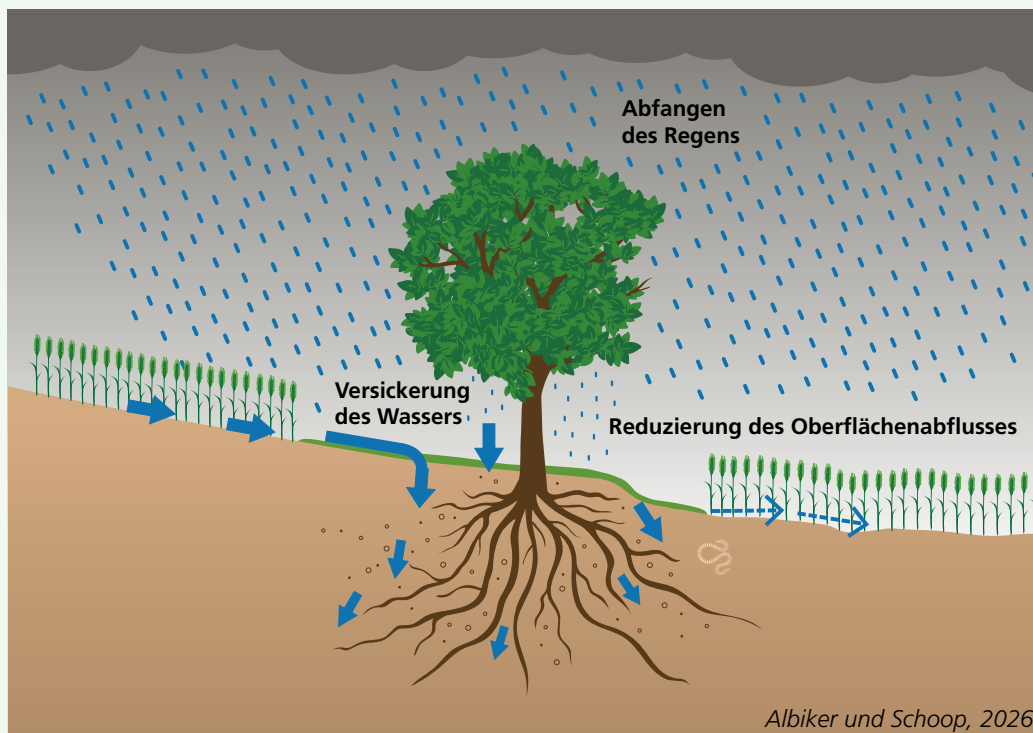
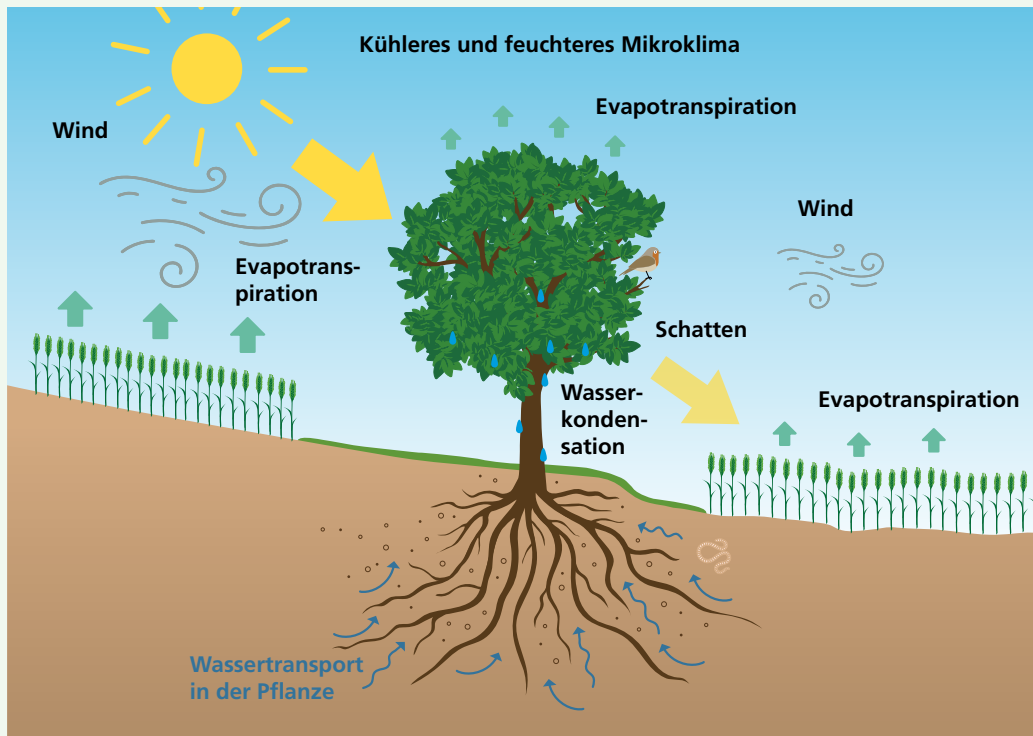
Bäume und Sträucher versorgen den lokalen Wasserkreislauf während der gesamten Vegetationsperiode. Die Vielfalt, welche sie in die Landschaft bringen, und die von ihnen abgegebenen Aerosole begünstigen die lokale Kondensation von Wasser.

Sie bringen jedoch mehrere Herausforderungen mit sich:

- Wasser- und Mineralienkonkurrenz gegenüber Kulturen in unmittelbarer Nähe: Diese kann durch regelmässiges Schneiden der Baumwurzeln (Pflügen, Scheibe oder Messer) begrenzt werden.
- Konkurrenz um Licht: Um den Schattenwurf zu begrenzen, sollten die Gehölzreihen in Nord-Süd-Richtung angeordnet werden. Für bestimmte Kulturen kann eine stärkere Beschattung auch wünschenswert sein (Gemüseanbau).
- Kosten: erhebliche Investitionen für die Anpflanzung und das Material, zusätzlicher Arbeitsaufwand für die Pflege, relativ lange Amortisationsdauer, da die erste Ernte (Obst, Holz) erst nach mehreren Jahren erfolgt. Die langfristige Rentabilität ist deshalb nicht immer klar erkennbar.

Fortsetzung auf der nächsten Seite →

- Notwendigkeit der Bewässerung in den ersten Jahren bei trockenen Bedingungen.
- Risiken durch Schädlinge: Wühlmäuse, Verbiss durch Rehe oder Hirsche, Vögel (gebrochene Zweige).
- Langfristige Planung erforderlich: Agroforstsysteme müssen über viele Jahre hinweg durchdacht werden.
- Unklare Rechtslage: noch nicht alle modernen Agroforstsysteme sind in den Direktzahlungen erfasst, aber das sollte sich mit der Agrarpolitik 2030 ändern.



Auswirkungen von Bäumen und Sträuchern auf Wasser und Mikroklima

Auswahl der Massnahmen: den Kontext gut kennen und beobachten

Klima

Die Niederschlagsverhältnisse sind in den verschiedenen Regionen der Schweiz sehr unterschiedlich. Im Rahmen einer landwirtschaftlichen Nutzung sollte ein Boden in der Lage sein, Niederschläge mit einer Wiederkehrperiode von ≤ 50 Jahren aufzunehmen, d. h. Niederschläge, die statistisch gesehen einmal alle 50 Jahre auftreten²⁷. Die Niederschlagsmengen und -intensitäten mit einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren können für verschiedene Stationen auf der Website von MeteoSchweiz berechnet werden²⁸. Beispiele sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Schweiz ist drei Hauptwinden ausgesetzt: dem meist feuchten Westwind, dem warmen und trockenen Föhn und der Bise, die im Sommer trocken und im Winter kalt und feucht ist²⁹. Trockene Winde erhöhen die Evapotranspiration im Sommer um 1 bis 2 mm/Tag. Die Anpflanzung von Hecken oder Baumreihen wirkt als Windschutz und wird idealerweise entsprechend der Richtung der vorherrschenden trockenen Winde geplant.

	Kumulierte Niederschläge (mm)							
	Payerne (VD)	Sion (VS)	Wynau (BE)	Wädens- wil (ZH)	St Gallen (SG)	Bâle (BS)	Fahy (JU)	Cadenazzo (TI)
1 Stunde	55	32	45	60	52	40	41	64
1 Tag	85	80	103	111	120	84	97	258

Tabelle 1: Niederschläge mit einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren in verschiedenen Regionen der Schweiz

Topografie

- Die Form und Neigung der Hänge beeinflussen den Wasserabfluss: Wasser neigt dazu, sich in konvexen Bereichen zu verteilen und in konkaven Bereichen anzusammeln. Die Topografie zeichnet konvexe, in der Regel trockene Kamm- und in der Regel feuchte Talsohlen (Talweg).
- Je länger die Hänge sind, desto schneller und voluminöser wird das Oberflächenwasser: Um grosse, schwer zu bewältigende Mengen zu vermeiden, sollte das Oberflächenwasser gleichmässig verlangsamt und aufgefangen werden.
- Bei Neigungen von $\geq 25-30\%$ sind Erdrutsche möglich: Vor einer starken Erhöhung der Versickerung ist Vorsicht geboten, da das Wasser den Boden schwerer macht und ihn weicher und rutschiger werden lässt.

Boden

- Die Struktur des Bodens bestimmt seine Wasserdurchlässigkeit: Ist er verdichtet, porös und stabil, oder porös, aber instabil?
- Die Oberflächenstruktur kann mit einer Spatenprobe ([spatenprobe.ch](https://www.spatenprobe.ch)) bewertet werden. Bei einer Tiefe von mehr als 40 cm ist die Beobachtung eines Bodenprofils erforderlich und immer sehr aufschlussreich.
- Die Stabilität der Struktur kann bewertet werden, indem Aggregate in Wasser getaucht werden und beobachtet wird, ob sie widerstandsfähig sind oder schnell zerfallen (Slake-Test).
- Der Wasserhaushalt eines Bodens und seine nFK können anhand der Tiefe und der Korngrößenverteilung grob abgeschätzt werden. Wenn er wenig steinig ist, kann eine Sondierung mit einer Handbohrmaschine einen guten Anhaltspunkt liefern. Eine zuverlässigere Einschätzung erfordert die Beobachtung eines Bodenprofils.

Wasserabfluss

- Es ist sehr aufschlussreich, den Wasserabfluss auf dem Gelände bei Niederschlag (leichter Regen und Gewitterregen) zu beobachten: Welche Wege nimmt das Wasser? Wo befinden sich Ansammlungen? Wohin fliesst das überschüssige Wasser ab? Sind Probleme im Zusammenhang mit Wasser erkennbar (Erosion, Stauzonen)?
- Auf dem Geoportal des Bundes (map.geo.admin.ch) sind zahlreiche Karten zum Thema Wasser verfügbar: Abflusskarten, Erosionsrisikokarte, Gefährdungskarte Oberflächenabfluss.
- Bevor Massnahmen zur Wasserableitung ergriffen werden, muss unbedingt festgestellt werden, wohin das überschüssige Wasser abgeleitet werden kann. Die Abflüsse müssen eindeutig identifiziert und gegebenenfalls auf ihre Kapazität zur Aufnahme von zusätzlichem Wasser überprüft werden.

Landschaft, historische und aktuelle Bodennutzung

Die Entwicklung der Landschaft lässt sich anhand historischer Karten und Luftbilder verfolgen, die auf dem Geoportal des Bundes verfügbar sind. Es ist interessant zu sehen, wo sich früher Feuchtgebiete, Hecken und Wege befanden, denn diese lagen in der Regel nicht zufällig an diesen Stellen.

Landwirtschaftlicher Kontext

Es gibt eine Vielzahl von Massnahmen zur Verbesserung des lokalen Wasserkreislaufs (Arbeit mit Keylines, Mulden, bodenschonende Landwirtschaft usw.). Diese sind mehr oder weniger gut an die verschiedenen landwirtschaftlichen Gegebenheiten angepasst. In jedem Fall ist es besser, mit dem zu beginnen, was einfach umzusetzen ist: zum Beispiel mit dem Umgang und der Pflege des Bodens, welcher die Grundlage aller landwirtschaftlichen Arbeit bildet. Mit kleinen Schritten zu beginnen, ermöglicht es, Kosten und Risiken zu begrenzen.

Womit soll man beginnen?

- Beobachten: Wie ist der Zustand des Bodens? Wo fliesst das Wasser ab? Was funktioniert und was nicht? Auf der Grundlage der Beobachtungen arbeiten und Massnahmen umsetzen.
- Wenn der Boden verdichtet ist, eine Auflockerung entsprechend den Höhenlinien in Betracht ziehen (Untergrundbearbeitung).
- Die Vegetation und die Bodenbedeckung maximieren, um den Boden vor Erosion, Hitze und Austrocknung zu schützen.
- Den Boden pflegen, um einen «Schwamm»-Effekt zu erzielen/aufrechtzuerhalten.
- Um den Wasserfluss zu beeinflussen, am höchsten Punkt beginnen und sich schrittweise nach unten arbeiten.
- Bei Anlagen Überläufe vorsehen, den Abfluss des überschüssigen Wassers berücksichtigen und dieses als Ressource nutzen.
- Die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Massnahmen/Anlagen maximieren, um sie noch effizienter zu gestalten.
- Beobachten, analysieren und ggf. Anpassungen vornehmen.

Fazit

- Der Klimawandel stellt eine grosse Herausforderung für die Landwirtschaft dar: Die Temperaturen werden steigen, Dürren werden häufiger auftreten und gleichzeitig werden Regenfälle und Gewitter intensiver werden.
- Bewässerung kann bis zu einem gewissen Grad lokal und vorübergehend den Wassermangel ausgleichen, ist jedoch kostspielig, nicht für alle Kulturen geeignet und belastet die Wasserressourcen. Der Bewässerung müssen Massnahmen vorausgehen, und sie muss von Massnahmen begleitet werden, die eine bessere Nutzung des Regenwassers und die Speicherung von Wasser im Boden ermöglichen.
- Die Wiederherstellung des lokalen Wasserkreislaufs verbessert die Wasserverfügbarkeit und macht die Umwelt widerstandsfähiger gegen extreme Wetterereignisse. Dies stabilisiert mittel- und langfristig die landwirtschaftlichen Erträge sowie die Trinkwasserverfügbarkeit. Die zu diesem Zweck ergriffenen Massnahmen haben auch eine kühlende Wirkung auf das Mikroklima.
- Regenwasser ist eine wertvolle Ressource: Es muss so nah wie möglich am Niederschlagsort aufgefangen werden, um es zu konservieren, zu verwerten und zu verhindern, dass es in Form von Oberflächenabfluss zu einer Gefahr wird. Abbildung 14 (Permalab®, abgeändert) zeigt, wie die verschiedenen Massnahmen in einem Wassereinzugsgebiet angeordnet werden können.
- In mehreren Regionen der Welt wurden Projekte zur Wiederherstellung des Wasserkreislaufs erfolgreich initiiert. In Europa ist die Slowakei das erste Land, das diesen Weg eingeschlagen hat⁶. In Frankreich wurden bereits mehrere Projekte umgesetzt, insbesondere im Süden des Landes, der von Wüstenbildung bedroht ist. In der Schweiz wird das 2024 gestartete Projekt Slow Water die Umsetzung solcher Massnahmen in Pilotlandwirtschaften testen. Das «Forum nachhaltiges Wassermanagement in der Landwirtschaft» stellt weiteres Wissen zum Thema zur Verfügung³⁰.

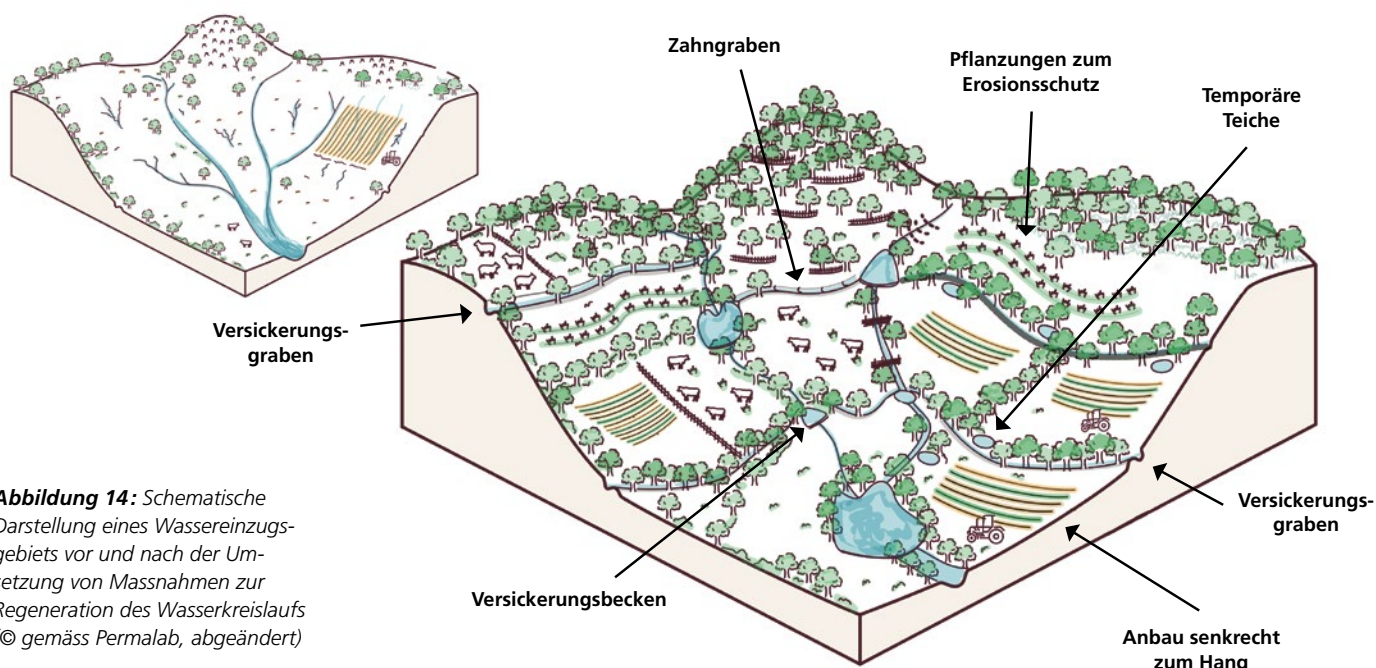


Abbildung 14: Schematische Darstellung eines Wassereinzugsgebiets vor und nach der Umsetzung von Massnahmen zur Regeneration des Wasserkreislaufs (© gemäss Permalab, abgeändert)

Glossar

- **Sensible Wärme:** Wärmemenge, die zwischen zwei Körpern ohne physikalische Phasenänderung ausgetauscht wird. Sie wird als «fühlbar» bezeichnet, da die Wärmeübertragung die Temperatur der Körper verändert, was von einem Beobachter wahrgenommen oder gemessen werden kann. Sie steht damit im Gegensatz zur «latenten Wärme», die bei einer physikalischen Phasenänderung ohne Temperaturänderung absorbiert wird.
- **Latente Wärme:** Energie, die erforderlich ist, um von einem physikalischen Zustand in einen anderen überzugehen, beispielsweise vom flüssigen in den gasförmigen Zustand. Sie wird als «latent» bezeichnet, da die Energieübertragung nicht mit einer Temperaturänderung einhergeht.
- **Blaues Wasser:** Wasser, das in Flüssen, Seen, Grundwasser und Stauseen vorkommt.
- **Grünes Wasser:** Wasser, das im Boden und in der Vegetation vorhanden ist.
- **Oberflächenwasser:** Alle fließenden oder stehenden, süßen, brackigen oder salzigen Wassermassen, die in direktem Kontakt mit der Atmosphäre stehen. Dazu gehören Flüsse und Seen, aber auch Kanäle und künstliche Stauseen.
- **Verdunstung:** Übergang von Wasser vom flüssigen in den gasförmigen Zustand.
- **Evapotranspiration:** Kombination aus den Prozessen der Verdunstung von Wasser aus dem Boden und von Oberflächen sowie der Transpiration von Wasser durch Pflanzen.
- **Potenzielle Evapotranspiration:** Maximale Wassermenge, die bei ausreichender Wasserversorgung von der Vegetation transpiriert und aus dem Boden verdunstet werden könnte. Sie wird ausschliesslich durch klimatische Faktoren (Temperatur, Sonneneinstrahlung, Wind und Luftfeuchtigkeit) bestimmt.
- **Endotherme Reaktion:** Reaktion, die Energie aus der Umgebung aufnimmt und mit einer Temperaturabnahme einhergeht.
- **Nutzbare Feldkapazität (nFK):** Maximale Wasserreserve, die ein Boden speichern und an Pflanzen abgeben kann.
- **Leicht nutzbare Feldkapazität (nFK I):** Anteil der nFK, die von Pflanzen leicht aufgenommen werden kann. Er macht zwischen der Hälfte und zwei Dritteln der nFK aus.
- **Rauheit der Landschaft:** Gesamtheit der Unebenheiten einer Landschaft, die mit dem Relief, der Vegetation oder der Infrastruktur zusammenhängen können.
- **FZH:** Fragmentiertes Zweigholz ist ein Häckselgut aus grünen Ästen (Durchmesser < 7 cm), das hauptsächlich von Laubbäumen und Sträuchern stammt.

Quellen

1. Auerswald K., Geist J., Quinto John N., and Fiener P. (2025): Floods and droughts – are land use, soil, management, and landscape hydrology more significant drivers than increasing CO₂? Hydrol. Earth Syst. Sci., 29, 2185-2200.
2. Meteosuisse, BAFU (2020), aktualisiert und angepasst. <https://www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique.html>, abgerufen im August 2025.
3. Calanca P. (2024). Der Klimawandel ist bereits offensichtlich. UFA Revue.
4. Global commission on the economics of water (2024). The economics of water – Valuing the hydrological cycle as a global common good, OECD Environment Directorate (<https://watercommission.org/>).
5. Van der Ent R. J., Savenije H. H. G., Schaefli B., Steele-Dunne S. C. (2010). Abteilung Klima, Biodiversität und Wasser. Entstehung und Verbleib von Luftfeuchtigkeit über Kontinenten, Water Resources Research, Band 45, W09525.
6. Kravcik M., Pokorny J., Kohutiar J., Kovac M., Toth E., Valette V., Klima und kleine Wasserkreisläufe, Lösungen des neuen Wasserparadigmas. Verlag Yves Michel, 2025
7. Bonvoisin S., Goldin F., Talin A. (2025). Süsswasser anbauen, Verlag Ulmer.
8. Sheil D. (2018). Wälder, atmosphärisches Wasser und eine ungewisse Zukunft: die neue Biologie des globalen Wasserkreislaufs. Forest Ecosystems (2018) 5:19
9. Bouthier A., Scheurer O., Seger M., Lagacherie P., Beaudoin N., Deschamps T., Sauter J., Fort J.L., Cousin I. (2022). Réservoir en eau du sol utilisable par les cultures (Von Nutzpflanzen nutzbares Bodenwasserreservoir), Arvalis Verlag.
10. Liniger H.P., Askrabic J. (2024). Schutz der Böden vor Hitze: eine dringende Notwendigkeit. Zeitschrift UFA, 6.11.2024.
11. Zutter G. (2023). Nackter Boden glüht. Die Grüne Nr. 11.
12. Liniger H.P., Askrabic J. (2025). Verbesserung des Wasserkreislaufs in der Landwirtschaft, AGRIDEA-Kurs Tag 1, 28. Januar 2025.
13. Schwarzer S. (2021). Mit Pflanzen, Böden und Wasser das Klima kühlen und die Landschaften der Erde rehydrieren, UN-Umweltprogramm, Foresight Brief 025. Wissenschaftsabteilung, Frühwarnung, aufkommende Themen und Zukunftsaussichten.
14. Hsu H. und Dirmeyer P. A. (2023). Die Kopplung von Bodenfeuchte und Verdunstung schaltet unter steigendem CO(2)-Gehalt in einen neuen Gang. Nature Communications 14:1162.
15. Europäische Umweltagentur (2021) <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/soil-moisture-deficit?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8>, abgerufen im August 2025.
16. Ricard S. (2025). Verbesserung des Wasserkreislaufs in der Landwirtschaft, AGRIDEA-Kurs, Tag 2, 27. März 2025.
17. Mosimann T., Maillard A., Musy A., Neyroud, J.-A., Rüttimann M., Weisskopf P. (1991). Bekämpfung der Erosion von Kulturböden. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogramms «Boden-nutzung in der Schweiz, Bern-Liebefeld», verfügbar im August 2025 unter https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/sol/fichiers_pdf/Mosiman_1991_OCR_I_web.pdf,



**austauschen
verstehen
weiterkommen**

18. Johannes A., Matter A., Schulin R., Weisskopf P., Baveye P. C., Boivin P. (2017). Optimale Werte für organischen Kohlenstoff für die Bodenstrukturqualität von Ackerböden. Spielt der Tonanteil eine Rolle? Geoderma 302.
19. Bucaille F. (2020). Revitalisierung von Böden: Diagnose, Düngung, Schutz, Dunod Verlag.
20. Alleto L., Bustillo V. (2023). Wasserhaushalt der Böden in der konservierenden Landwirtschaft, Zeitschrift Agronomie, Umwelt und Gesellschaft 13-1.
21. USDA – Literaturübersicht zur Bodengesundheit 03/2018 (2018). Auswirkungen auf die Wasserhaltekapazität und Wasserretention des Bodens infolge der Umsetzung von Massnahmen zur Bodengesundheit
22. Chervet A., Ramseier L. Stürny W. G., Weisskopf P., Zihlmann U., Müller M., Schafflützel R. (2006). Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug. Agrarforschung 13 (4). verfügbar im März 2026 unter: <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/2566>
23. Projekt Ressource 77a «Zwischenfrüchte». <https://www.blw.admin.ch/fr/projet-ressource-cultures-intercalaires-en-relais>, abgerufen im August 2025.
24. den Hond-Vaccaro C., Herzog F., Schoop J., Nilles L., Jäger M., Kay S. (2025). Agroforstpraxis in der Schweiz. Verwurzt im Wandel. 272 S., Haupt Verlag AG, Bern. ISBN: 978-3-258-08366-7
25. Liagre F., Santi F., Bachevillier Y., Sotteau C. (2017). Produire avec les arbres : pour une agriculture différente. Vereinigung für Agroforstwirtschaft der Region CentreVal de Loire. 24 S. hal-02790807
26. Laban P. (2009). Grundsätze für die Gestaltung und Bewirtschaftung von Agroforstsystemen – Technischer Leitfaden PAGESA, Association Française Arbres et Haies Champêtres (AFAHC).
27. BAFU und BLW (2013). Bodenschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe für den Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. L'environnement pratique Nr. 1313.
28. MeteoSchweiz, abgerufen im November 2025: <https://www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/applications/periode-la-plus-longue.html>
29. MeteoSchweiz, abgerufen im August 2025: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/wetter/wetter-und-klima-von-a-bis-z/wind.html>
30. Forum nachhaltiges Wassermanagement in der Landwirtschaft, abgerufen im Februar 2026 <https://agripedia.ch/forum-wasser-landwirtschaft/wissensplattform/>

Impressum

Ausgabe	AGRIDEA Jordils 1 • CP 1080 CH-1001 Lausanne T +41 (0)21 619 44 00 www.AGRIDEA.ch
Autoren	Nathalie Dakhel Robert, AGRIDEA und Hanspeter Liniger, Uni Bern.
Autoren	Danielle Albiker, Manuela Bächtold, Lisa Nilles, Johanna Schoop, AGRIDEA, Simon Ricard, Permalab
Layout	Johanne Martin, Merel Gooijer, AGRIDEA
Druck	AGRIDEA
Gruppe	Pflanzenbau
Artikel-Nr.	4979
© AGRIDEA, April 2026	

Bildquellen

- 1 : Danielle Albiker
- 2, 3, 4 : Nathalie Dakhel Robert
- 5 : Hanspeter Liniger
- 6 : NaturGut Katzhof
- 7 : [Permalab](#)