

Versalzung des Rhonetales

Bodenversalzung beeinträchtigt das Pflanzenwachstum

U. SCHMIDHALTER und J. J. OERTLI, Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH, Bereich Pflanzenbau, CH-8315 Eschikon

Zusammenfassung

Als Folge erhöhter Salzgehalte in den Alluvialböden der Rhoneebene werden bei Gemüsekulturen häufig Ertragsausfälle und -reduktionen beobachtet. Ziel dieser Arbeit war die systematische Untersuchung der Versalzungsprobleme im Unterwallis. Ursachen und Mechanismen der Versalzung wurden abgeklärt sowie Verbesserungsmassnahmen zur Lösung der Probleme ausgearbeitet.

Einleitung und Problemstellung

Bewässerte Trockengebiete gehören dank hoher Sonneneinstrahlung und günstigen Temperaturbedingungen zu den produktivsten landwirtschaftlichen Gebieten der Erde. Mehr als die Hälfte der weltweit gegen 2,5 Millionen km² grossen künstlich bewässerten Fläche ist versalzt oder von der Versalzung bedroht. Betroffen davon ist auch das Unterwallis.

Salze sind für das Pflanzenwachstum von lebensnotwendiger Bedeutung. Übersteigt die Salzkonzentration im Wurzelmilieu jedoch einen bestimmten Wert, werden die Pflanzen geschädigt. Während Regenwasser nur etwa 0,005-0,04 Gramm Salz pro Liter aufweist, kann Bewässerungswasser bis 3 Gramm und mehr enthalten. Enthält das Bewässerungswasser mehr als 0,5 Gramm Salz pro Liter, muss bei gehemmter Bodenentwässerung mit Versalzungsproblemen gerechnet

werden. Bewässert man eine Hektare mit 100 mm Wasser, das 1 Gramm Salz pro Liter enthält, so führt man 1 Tonne Salz auf das Feld.

Da von der Boden- und Blattoberfläche der Pflanzen nur reines Wasser verdunstet, bleiben die Salze im Boden zurück. Ein kleiner Teil wird mit den Ernteprodukten weggeführt. Einzig bei guter Bodenentwässerung können die Salze mit dem Drainagewasser weggeführt werden. Erfolgt dies nicht, so steigt Jahr für Jahr die Salzmenge im Boden an, die Bodenlösung wird konzentrierter, die Lebensbedingungen für die Pflanzen werden immer ungünstiger.

Bei intensiver Bewässerung steigt oft auch der Grundwasserspiegel an.

Durch kapillaren Wasseraufstieg gelangen die Salze aus dem Grundwasser in die Wurzelzone. Sichtbare Spuren dieses Prozesses sind Salzkrusten auf der Bodenoberfläche. Die Gefährdung eines Gebietes durch Versalzung hängt wesentlich von der vorwiegenden Wasserbewegung ab. Ist eine Nettoabwärtsbewegung des Wassers während des Jahres vorhanden, so besteht keine wesentliche Gefährdung. Verdunstet während des Jahres jedoch mehr Wasser als in Form von Niederschlägen resp. durch Bewässerung zugeführt wird, so kann es zu Salzanreicherungen kommen und damit zu Schädigungen des Pflanzenwachstums. Dabei genügen oft schon relativ kleine Salzkonzentrationen im Grund-



Abb. 1. Salzschiiden in einem Karottenfeld. Stark erhöhte Salzkonzentrationen im Boden verhinderten das Auflaufen (Bildvordergrund) resp. führten zu einer Wachstumsreduktion (Bildmitte).

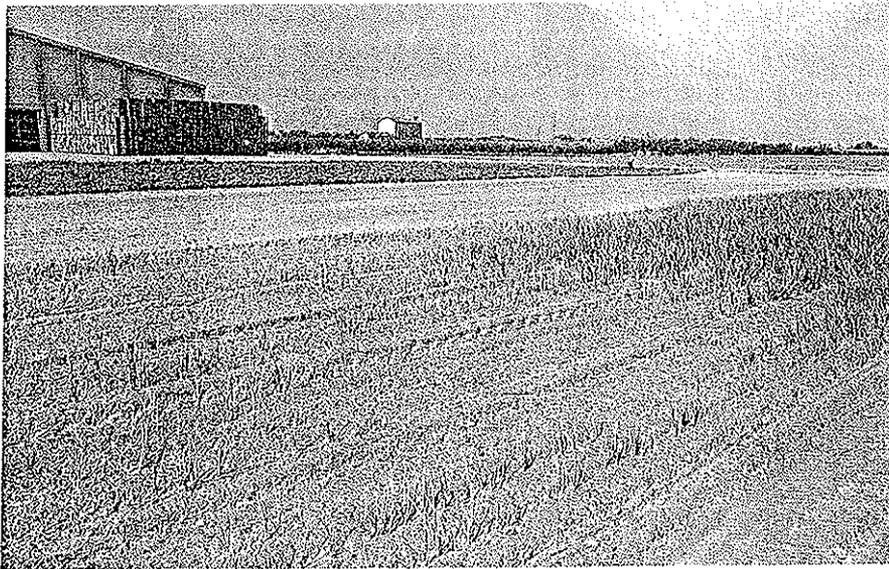


Abb. 2. Versalzungsbedingte Auflaufschäden in einem Zwiebfeld.

oder Bewässerungswasser, die langfristig zu Salzanreicherungen im Boden führen können.

Die Gefährdung des Pflanzenwachstums durch Salze hängt von der Salzkonzentration ab. Enthält die Bodenlösung mehr als 2-3 Gramm pro Liter, so spricht man von Salinität. Pflanzen unterscheiden sich sehr stark in ihrer Anfälligkeit gegenüber Versalzung. Empfindliche Kulturpflanzen (Bohnen, Karotten, Zwiebeln) können schon bei tiefen Werten schwere Schäden davontragen. Tolerantere Pflanzen (Gerste, Zuckerrüben) ertragen ein Vielfaches davon. Die Empfindlichkeit hängt auch vom Vegetationsstadium ab.

Salzüberschuss im Boden hat grundsätzlich zwei nachteilige Auswirkungen

auf die Pflanzen: Wassermangel und Giftigkeit. Je konzentrierter die Bodenlösung ist, desto schwerer verfügbar ist das Wasser für die Pflanzen. Salz hat somit eine ähnliche Wirkung wie Wassermangel. Die Pflanzen leiden unter Trockenheitsstress, das Wachstum wird gehemmt, im Extremfall welken die Pflanzen.

Salzüberschuss im Boden führt nach einiger Zeit auch im Pflanzenkörper zu einem Salzüberschuss, da der Mechanismus der Ionenaufnahme durch die Wurzeln überfordert wird. Wird die Salzkonzentration in den Pflanzenzellen zu hoch, werden die Pflanzen durch toxische Effekte stark geschädigt. Der kontinentale Klimacharakter des Rhonetals erfordert eine ständige Bewässerung der Kulturpflanzen. Wäh-

rend des Sommers besteht ein ausgeprägtes Wasserversorgungsdefizit. Dieses wird einerseits durch kapillar aufsteigendes Grundwasser und andererseits durch Bewässerung gedeckt. Im Grund- und Bewässerungswasser finden sich häufig erhöhte Salzgehalte (1-3 Gramm Salz pro Liter). Diese Salze reichern sich mit der Zeit im Boden an und beeinträchtigen das Pflanzenwachstum. Als Folge erhöhter Salzgehalte in den Alluvialböden der Rhoneebene werden bei Gemüsekulturen häufig Ertragsausfälle und -reduktionen beobachtet. CATZEFLIS (1972) gibt an, dass je nach Jahr, 50-200 Hektaren davon betroffen sein können.

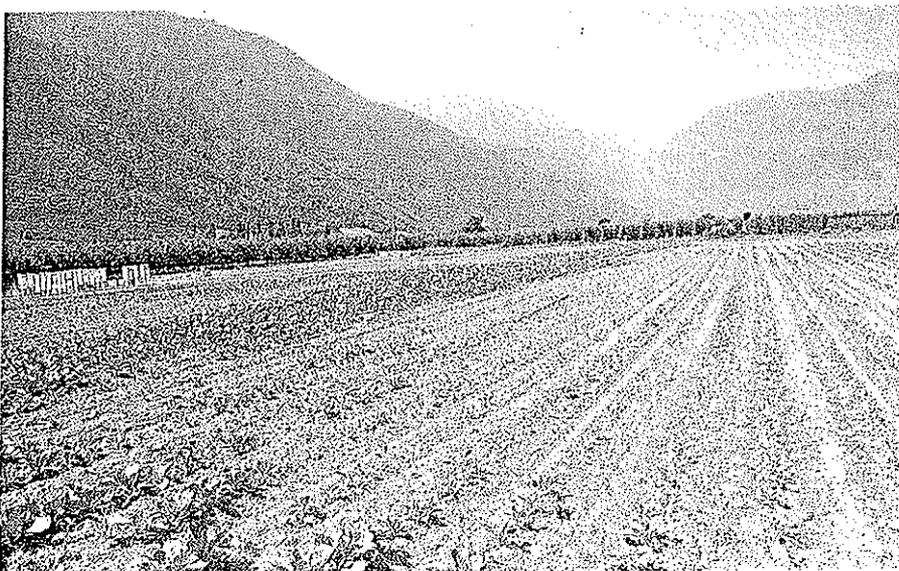
Erste Hinweise auf das Vorkommen von versalzten Böden im Rhonetal finden sich in der Vegetationsmonographie von GAMS (1927), der erwähnt, dass der Chlorid- und Sulfatgehalt des Bodens bei Trockenheit derart ansteigen kann, dass es zu eigentlichen Salzausblühungen kommt.

Über die Entstehung der Versalzung und Massnahmen zur Verhinderung der Versalzung wurde erstmals in Arbeiten von CATZEFLIS (1972) und FAVRE (1982) berichtet. In den Jahren 1982-1986 wurden systematische Untersuchungen von SCHMIDHALTER (1986) ausgeführt mit dem Ziel, Kenntnisse der Ursachen und des Grades der Versalzung zu erarbeiten. Die Mechanismen der Versalzung wie auch ihre Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum wurden untersucht und Verbesserungsmaßnahmen zur Lösung der Probleme vorgeschlagen.

Ursachen der Versalzung

Aus chemisch-physikalischen Verwitterungsvorgängen des Muttergesteins der seitlichen Berghänge entstehen Mineralsalze, die mit Niederschlägen und Schmelzwasser in die Talebene verlagert werden und dort in das Grundwasser gelangen. Mit dem Grundwasser gelangen die Salze durch kapillaren Wasseraufstieg in die Wurzelzone, wo sie nach Verdunstung zurückbleiben und sich anreichern. Am deutlichsten sichtbar zeigt sich dies in Form von Salzausblühungen auf dem Boden. Eine Erhöhung der Bodensalzkonzentration erfolgt ebenfalls durch salzhaltiges Bewässerungswasser. In das Grundwasser infiltrierendes Rhonewasser bewirkt eine Erniedrigung der Salzkonzentration, da es nur einen geringen Salzgehalt aufweist.

Abb. 3. Salzsäden in einem Blumenkohlfeld. Unterschiedliche Salzkonzentrationen im Boden führen zu deutlich ausgeprägten Wachstumsunterschieden.



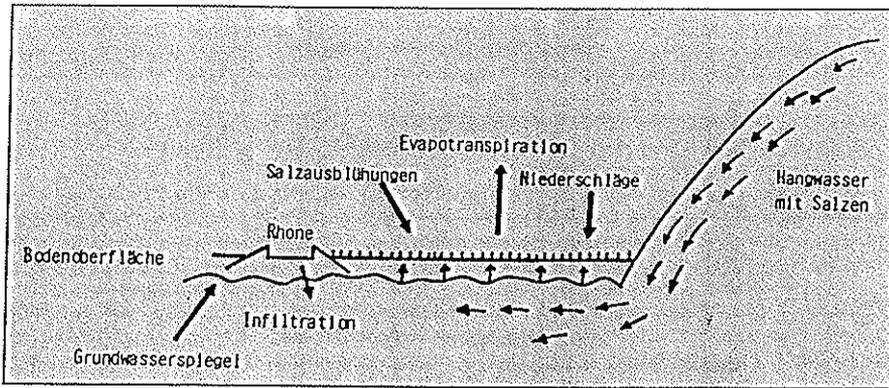


Abb. 4. Schematische Darstellung des Versalzungsprozesses in der Rhoneebene.

Der Vorgang der Versalzung ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Das Ausmass der Schäden hängt neben der Salztoleranz der Pflanzen wesentlich von drei Faktoren ab:

Wasserqualität

In der Rhoneebene findet sich eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte horizontale und vertikale Zonierung der Salzkonzentration im Grundwasser. Die Salzkonzentration im Grundwasser nimmt im allgemeinen von den Talflanken rhonewärts ab (Abb. 5). Rhonewasser enthält wenig Salze: 0,3 mS/cm oder 0,1 g/l Salz (die Salzkonzentration wird aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit bestimmt: 1 mS/cm \approx 0,36 g/l Salz; mS = milli-Siemens).

Im oberflächennahen Grundwasser finden sich höhere Salzkonzentrationen (0,5-3 g/l Salz) als in den tieferliegenden, grundwasserführenden Schichten (\leq 0,5 g/l Salz). Wasser, das mehr als 0,5-0,7 g/l Salz enthält, ist nur bedingt für die Wasserversorgung der Pflanzen geeignet.

Bewässerungswasser, das aus grösserer Tiefe entnommen wird, ist somit besser für die Wasserversorgung geeignet. Ebenfalls gilt dies für Rhonewasser oder Wasser lokaler Quellen und Zuflüsse.

Physikalische Eigenschaften

Die Textur des Bodens, die Körnung des Bodens, beeinflusst die Schäden in wesentlichem Masse. Besonders gefährdet sind Pflanzen auf schluffreichen Böden. Diese Böden weisen ein hohes kapillares Aufstiegsvermögen auf. Andererseits findet sich in ihnen nur ein geringer Anteil Grobporen, weshalb die Bodenentwässerung gehemmt ist, die Salze somit nur ungenügend ausgewaschen werden und der Lufthaushalt beeinträchtigt wird. In

Abb. 6. Korngrößenverteilung und Salzgehalt (Gewichtsprozent %g) einer Parzelle mit einem versalzten und einem nicht versalzten Standort.

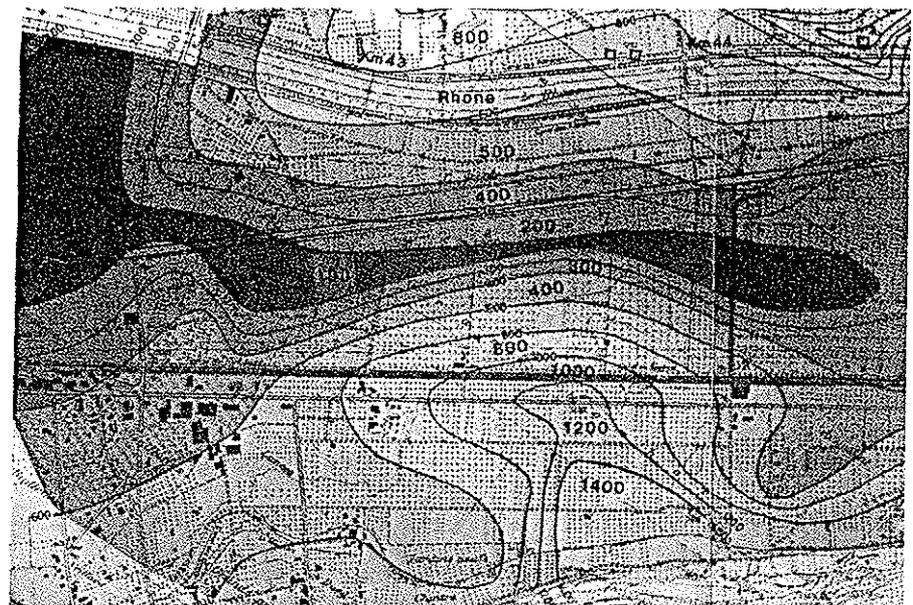


Abb. 5. Salzkonzentration im Grundwasser der Rhoneebene bei Charrat. Die in 10 m Tiefe gemessenen Salzkonzentrationen zeigen eine Abnahme zur Talmitte hin. Die Zahlen geben die Salzkonzentration in $\mu\text{S/cm} = 1/1000 \text{ mS/cm}$ an.

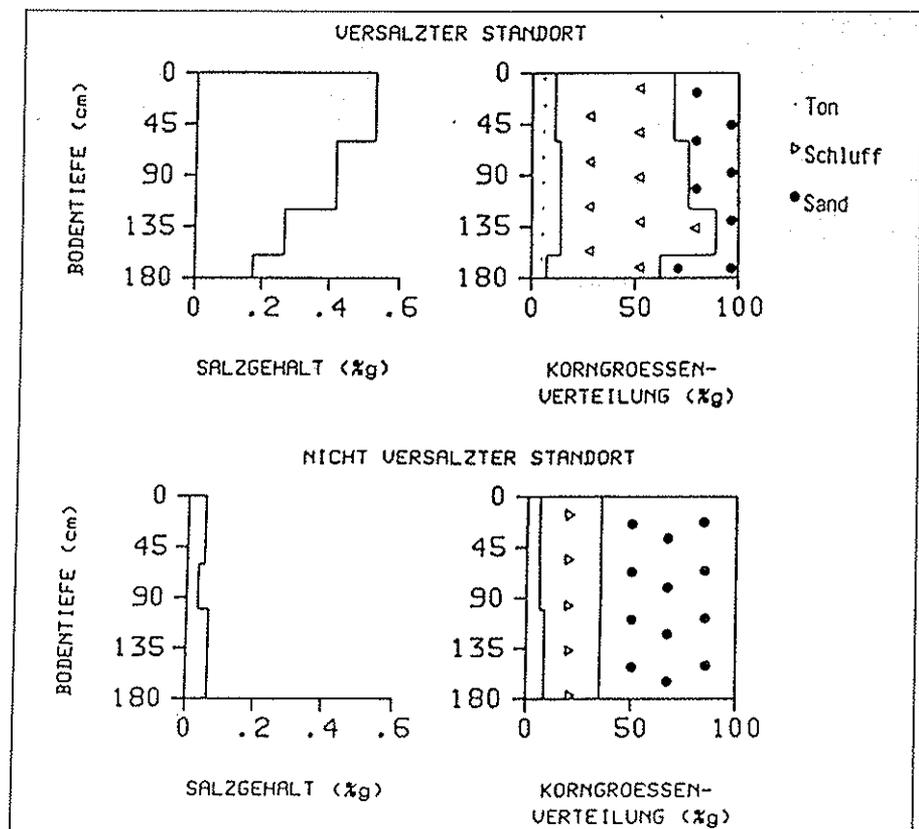


Abbildung 6 ist die Korngrößenverteilung und der Salzgehalt einer Parzelle dargestellt, die geschädigte und nicht geschädigte Standorte aufwies.

Grundwassertiefe

Das Grundwasser leistet einen wesentlichen Beitrag zur Wasserversorgung der Pflanzen, gleichzeitig werden jedoch erhebliche Mengen Salze in den Wurzelraum transportiert. Je näher der Grundwasserspiegel sich bei der Oberfläche befindet, desto mehr Wasser steigt auf und desto schneller gelangt es in den Wurzelraum. Dies hat jedoch zur Folge, dass die Pflanzen bei einem nahen Grundwasserspiegel viel stärker durch Versalzung gefährdet sind.

Bei 60 cm Grundwassertiefe (Abb. 7) erreicht die Salzfront schon nach weniger als zwei Monaten den Hauptwurzelhorizont, während bei 120 cm Grundwassertiefe die Salzfront auch nach vier Monaten den Hauptwurzelhorizont noch nicht erreicht hat.

Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum

Am stärksten betroffen von der Versalzung sind die Pflanzen während der Keimungsphase. Ältere Pflanzen sind aufgrund ihres stärker entwickelten Wurzelwerkes, mit dem sie ein grösseres Bodenvolumen erschliessen können, häufig in der Lage, in Bodenbereiche vorzustossen, in denen die Salzkonzentration tiefer ist. Für unsere Untersuchungen haben wir Karotten gewählt, die eine häufig angebaute Kultur darstellen und als salzempfindlich gelten.

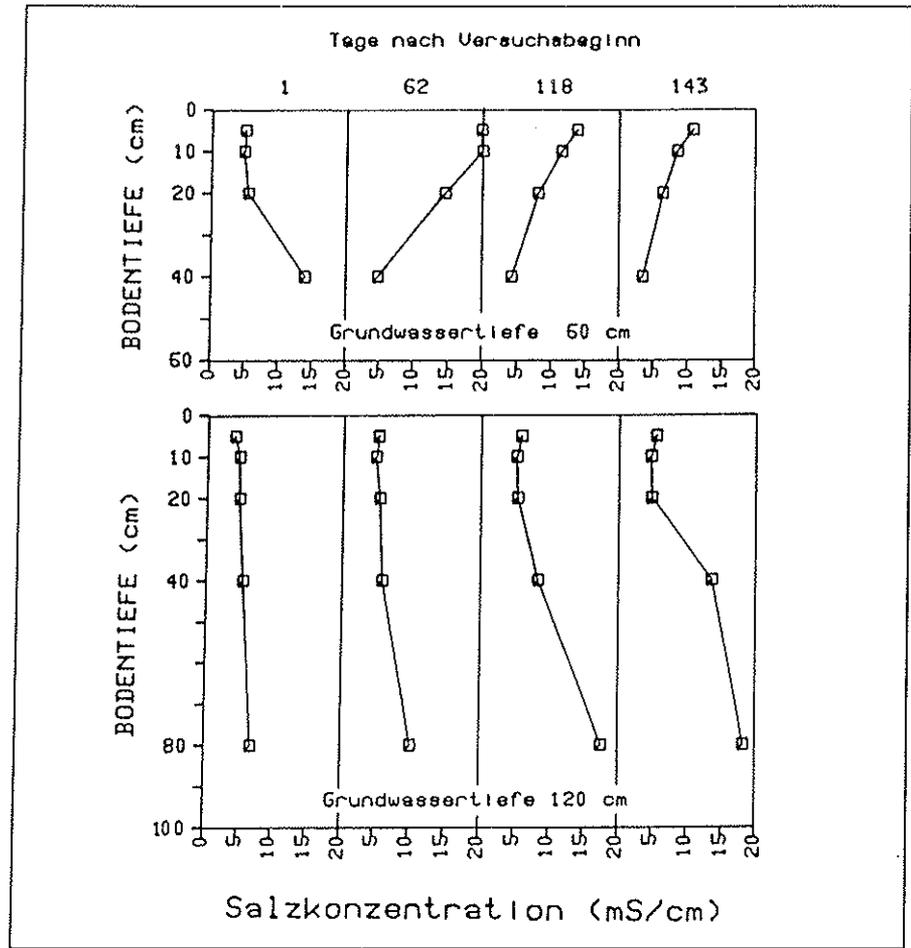


Abb. 7. Salzkonzentration in der Bodenlösung (ECs) eines unbepflanzten Bodens in Abhängigkeit der Zeit. Grundwassertiefe 60 resp. 120 cm. Grundwassersalzkonzentration 2,59 mS/cm (0,95 g/l Salz).

Keimungsphase

Der Keimungsprozess im Boden wird wesentlich durch die Temperatur, den Bodenwassergehalt und die Salzkonzentration beeinflusst (SCHMIDHALTER

1985). Die Vitalität der Keimlinge wird durch erhöhte Salzkonzentrationen im Boden viel stärker beeinflusst als der Keimungsprozentsatz (Abb. 8).

Zunehmende Salzkonzentrationen bewirken nicht nur eine prozentuale Abnahme der Keimung, sondern verzögern auch die Keimung und hemmen die Pflanzenentwicklung.

Die Optimaltemperatur der Keimung liegt bei 16-21°C. Bei erhöhten Salzkonzentrationen zeigen die Keimlinge besonders bei tieferen Temperaturen einen starken Rückgang in der Vitalität (Abb. 9). Die negativen Auswirkungen erhöhter Salzkonzentrationen werden in nassen Böden, d.h. Böden mit einer ungenügenden Sauerstoffversorgung, besonders verstärkt.

Die vier untersuchten Sorten (Nandor, Tip Top, Tancar, Nanthia) wiesen keine Unterschiede in der Salztoleranz auf.

Das Keimungsstadium ist besonders gefährdet, da sich die Salze bevorzugt in der obersten Bodenschicht akkumulieren, wo die Samen der höchsten Salzkonzentration ausgesetzt sind.

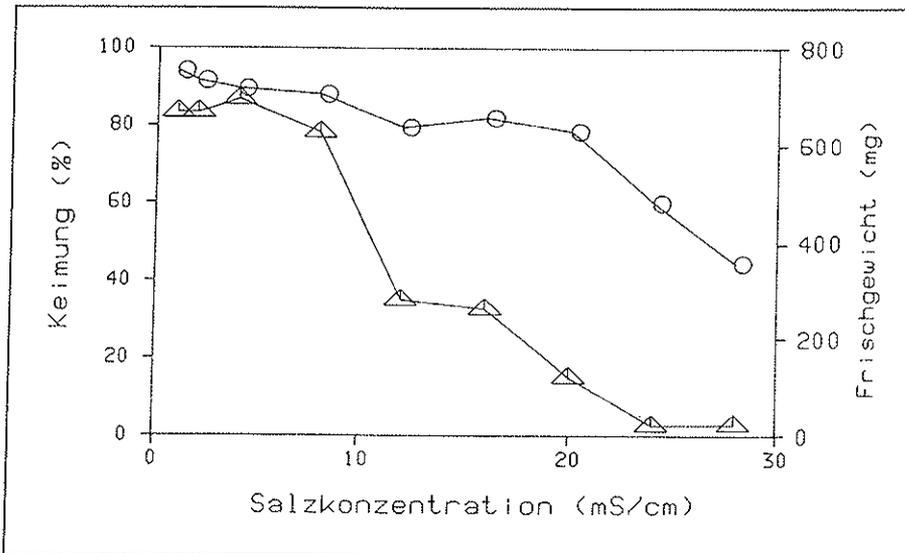


Abb. 8. Einfluss der Salzkonzentration auf den Keimungsprozentsatz von Karotten (Kurve mit Kreisen) resp. das Spross-Frischgewicht von Keimlingen (Kurve mit Dreiecken).

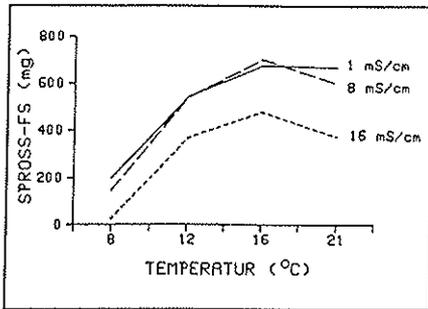


Abb. 9. Einfluss von Temperatur und Salzkonzentration auf das Spross-Frischgewicht (Spross-FS) von Karottenkeimlingen.

Späte Wachstumsstadien

Erhöhte Salzkonzentrationen im Boden führen zu einer starken Abnahme der Ertragsleistung von Karotten (Abb. 10). Die Ergebnisse zeigen, dass Karotten als salzempfindliche Pflanzen einzustufen sind.

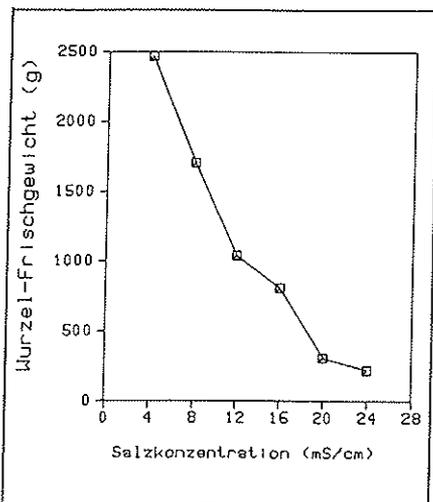


Abb. 10. Wurzel-Frischgewicht von Karotten bei steigenden Salzkonzentrationen in der Bodenlösung (ECs).

Verbesserungsmassnahmen

Bewässerung

Durch regelmässige Bewässerung mit salzarmen Wasser wird die Salzkonzentration im Boden tief gehalten. Auf feintexturierten Böden haben sich Bewässerungsgaben von 20-40 mm als optimal erwiesen. Höhere Mengen führen zu Verschlammungen. Niedrigere sind wenig wirksam, da nur die obersten Zentimeter des Bodens durchfeuchtet werden, während sich der Hauptwurzelraum bei vielen Gemüsepflanzen in 5-30 cm Tiefe befindet.

Salzauswaschung und Drainierung

Auf stark versalzten Standorten ist eine umfassende Auswaschung der Salze erforderlich. Diese erfolgt vor Beginn bzw. am Ende der Vegetationszeit. Je nach Salzkonzentration im Boden und Bodentyp sind unterschiedliche Bewässerungsmengen erforderlich. Abbildung 11 zeigt die Verlagerung von Salzen in einem stark versalzten Schluffboden in Abhängigkeit der eingesetzten Bewässerungsmengen. Um die Salze in diesem Boden in 1 Meter Tiefe zu verlagern, müssen 500 mm Wasser eingesetzt werden.

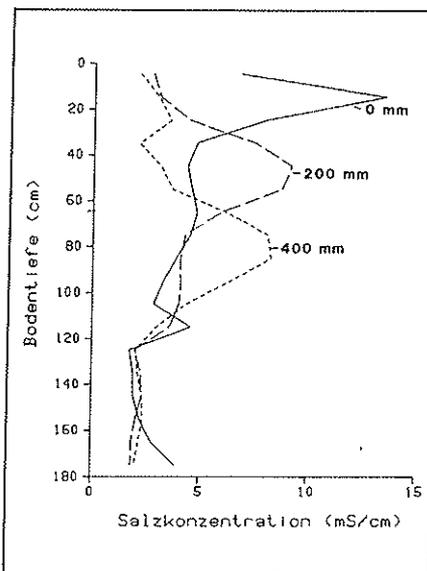


Abb. 11. Versalzungsprofil eines schluffreichen Bodens in Abhängigkeit der eingesetzten Bewässerungsmengen.

Die Wirksamkeit der Auswaschung ist in den Abbildungen 12 und 13 gezeigt, die die Situation vor und nach der Auswaschung zeigen. Auf diesem sehr stark versalzten Standort konnte gezeigt werden, dass durch eine entsprechende Technik selbst sehr empfindliche Kulturen wie Karotten erfolgreich angebaut werden können.

Auf mässig versalzten Standorten sind deutlich kleinere Wassermengen einzusetzen. Häufig genügt die Anwendung von 40-100 mm Bewässerungswasser vor der Saat, um einen salzfreien Saathorizont zu erreichen. Dadurch wird die Voraussetzung für ein einwandfreies Auflaufen der Kulturen geschaffen. Dank dieser Massnahme können die Ertragseinbussen sehr oft in sehr kleinen Grenzen gehalten werden, da ältere Pflanzen aufgrund ihres stärker entwickelten Wurzelwerkes viel eher in Bodenbereiche mit einer tiefen Salzkonzentration vorstossen können. Auf verschiedenen Versuchsstandorten konnte gezeigt werden, dass mit dieser Massnahme eine einwandfreie Bewirtschaftung der Böden möglich ist, da sich die Pflanzen während des kritischsten Stadiums ungehindert entwickeln können.

Voraussetzung für die Auswaschung der Salze stark versalzener Standorte ist die Gewährleistung der Wegführung des salzhaltigen Wassers. Die ungenügende Drainierung vieler Standorte ist als eines der Grundprobleme der Entstehung der Versalzung anzusehen. Dies bedingt in erster Linie eine ausreichende Tiefenlage des Hauptvorfluters, in diesem Fall der Rhone resp. der Hauptentwässerungskanäle.

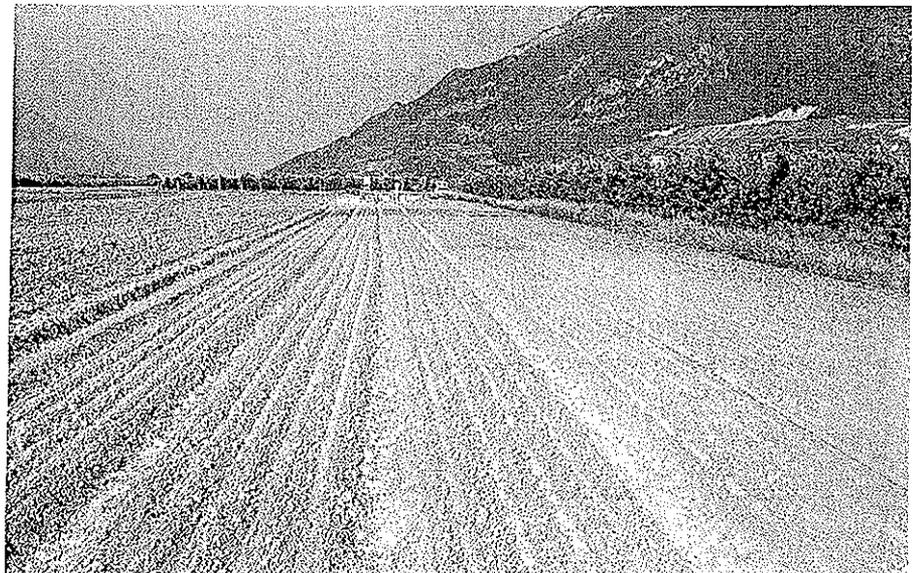


Abb. 12. Situation vor der Salzauswaschung. Hohe Salzkonzentrationen im Boden haben ein Auflaufen der angebauten Kulturen vollständig verhindert.



Abb. 13. Situation nach der Salzauswaschung. Die Auswaschung hat zu einer umfassenden Verbesserung beigetragen (Bildhintergrund). Im Vordergrund befinden sich Versuchseinrichtungen zur Untersuchung der Drainierungseigenschaften dieses Standortes.

Nur so ist es möglich, dass Drainierungseinrichtungen auf den Feldern funktionieren können. Es ist klar, dass diese Verbesserungen zum Teil nur im Rahmen einer umfassenden Melioration erfolgen können. Auf gefährdeten Standorten ist dafür zu sorgen, dass durch eine wirksame Entwässerung die Voraussetzungen für eine Nettoabwärtsbewegung des Wassers während des Jahres geschaffen werden.

Grundwasserabsenkung

Durch eine Absenkung des Grundwasserspiegels kann in vielen Fällen eine wesentliche Verbesserung auf versalzten Böden erreicht werden. Durch die Absenkung des Grundwasserspiegels wird der Eintrag salzhaltigen Grundwassers in den Wurzelraum reduziert, die Auswaschung der Salze erleichtert, die Durchlüftung verbessert und die Erwärmung des Bodens gefördert.

Anbau toleranter Pflanzen und weitere Verbesserungsmassnahmen

Zu den am meisten gefährdeten Pflanzen gehören Karotten, Zwiebeln und Erdbeeren. Weniger gefährdet sind Kohlarten, Tomaten und Spargeln. Auch tieferwurzelnde Pflanzen wie die Obstgehölze gehören zu den weniger gefährdeten Kulturen.

Durch den Anbau von Gründüngungspflanzen kann ein wertvoller Beitrag zur Verbesserung der physikalischen Bodenstruktur geleistet werden, wodurch das Versalzungsrisiko verkleinert wird. Mit tieflockernden Bodenbearbeitungsmassnahmen bzw. dem früher häufig praktizierten Tiefpflügen lassen sich auf geeigneten Standorten wesentliche Verbesserungen des Wasserhaushalts dieser Böden erreichen.

Résumé

Salinisation des sols de la plaine du Rhône

Suite à une teneur élevée en sels des sols alluviaux de la plaine du Rhône, on a souvent observé des réductions de rendement pouvant aller jusqu'à l'anéantissement total de la culture. Le but de ce travail était l'étude systématique des problèmes de salinisation dans le Bas-Valais. Les causes des mécanismes de cette salinisation ainsi que des propositions d'amélioration ont été étudiées.

Literatur

- CATZEFIS J., 1972. Les croûtes salines, problème maraîcher du Valais. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 4 (4), 156-158.
- FAVRE C., 1982. Les sols de la plaine du Rhône du Valais central. Stations agricoles. Châteauneuf.
- GAMS H., 1927. Vegetationsmonographie aus dem Wallis. Pflanzengeogr. Komm. der Schw. Naturforsch. Gesellschaft. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme 15. Verlag Hans Huber, Bern.
- SCHMIDHALTER U., 1985. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* 17 (6), 377-380.
- SCHMIDHALTER U., 1986. Bodenversatzung im Unterwallis. Ursachen, Mechanismen und Meliorationsmassnahmen. Diss. Nr. 8052, ETH Zürich, 271 S.

Summary

Soil salinization of the Rhone valley

Due to increased salt concentration in the alluvial soils of the Rhone valley decreases in yield and losses of vegetable crops are frequently observed. The aim of this work was to clarify the causes and mechanisms of soil salinization and to propose measures for improvement.