

FAKTOREN DER BODENEROSION DURCH WASSER – ERGEBNISSE VON REGENSIMULATIONEN IM NORDÖSTLICHEN FLACH- UND HÜGELLAND NIEDERÖSTERREICHS

Berthold BAUER, Wien

(mit 2 Figuren und 5 Tabellen)

INHALT

1.	Erforschungsgeschichte.....	24
2.	Regensimulation.....	25
3.	Faktoren der Bodenerosion durch Wasser.....	25
3.1.	Niederschlag.....	26
3.2.	Interzeption.....	26
3.3.	Stammabfluß.....	27
3.4.	Durchregnen.....	27
3.5.	Bodeneigenschaften.....	28
3.6.	Infiltration.....	28
4.	Ergebnisse der eigenen Regensimulationen.....	30
4.1.	Auswahl der Testflächen.....	31
4.2.	Methode der Regensimulation.....	31
4.3.	Durchregnen.....	32
4.4.	Stammabfluß.....	35
4.5.	Bodenfeuchte.....	35
4.6.	Infiltration.....	36
4.7.	Erodibilität.....	39
	Literaturverzeichnis.....	42
	Summary.....	43

Die Bodenerosion ist ein Abtragungsprozeß, der im natürlichen Landschaftshaushalt auftritt, aber durch die Aktivitäten der Menschen, vor allem im Zuge der landwirtschaftlichen Bodennutzung, beschleunigt wird. Je nach Substrat des Bodens, der Regencharakteristik, Hangneigung und Nutzung schädigt die Bodenerosion die Produktivität der Böden verschieden stark. Eine kurze Darstellung der Entwicklung der Bodenerosion-Forschung zeigt, daß mit dem Begriff der Bodenerosion verschiedene Phänomene und Erklärungsansätze verbunden worden sind. Im deutschen geographischen Sprachgebrauch beinhaltet dieser zwei Vorgänge und Vorstellungen, nämlich erstens die allgemeine „Landabtragung“, flächenhafte Denudation oder Landerodierung sowie zweitens die Vorstellung der mehr linienhaften „Erosion“. Im Englischen wird unter „erosion“ auch ein flächenhafter Abtragungsvorgang verstanden.

1. ERFORSCHUNGSGESCHICHTE

Schon 1939 stellte BENETT in seinem grundlegenden Werk „Soil Conservation“ die Bodenerosion der natürlichen Erosion (natural erosion, normal erosion, geological erosion) gegenüber und definierte die Bodenerosion als „vastly accelerated process of soil removal brought about by human interference with the normal equilibrium between soil building and soil removal“. Zusätzlich zu der durch anthropogene Einwirkung (man enduced) hervorgerufenen beschleunigten Form der Zerstörung oder Minderung der Vegetation wollte BENETT aber auch eine Beschleunigung der Bodenerosion durch ungewöhnliche natürliche Ereignisse wie Lawinen, Bergstürze oder Trockenheit verstanden wissen. Wie schon SCHULTZE (1952) bemerkte, ist es schwierig, zwischen normaler geologischer Erosion und beschleunigter Erosion zu unterscheiden. Heute würde man letztere nicht unter die Erosionsproblematik stellen, sondern sie unter der Problematik der Massenbewegungen großer Augenblicksleistung oder der Naturkatastrophen behandeln. Dazu kommt noch, daß auch zwischen einer „normalen“ Trockenheit und einer „besonderen“ unterschieden werden müßte, wobei im statistischen Sinne zur Bestimmung des Durchschnitts der jeweils gewählte Beobachtungszeitraum maßgebend sein würde.

Die sich immer mehr einbürgernde Bezeichnung „Bodenerosion“ hat deutschen Forschern seit den vierziger Jahren Kopfzerbrechen bereitet. Man versuchte, treffendere deutsche Ausdrücke zu finden. So sprach WEIGT (1941) von „Bodenzerstörung“, ein Begriff, der sicher nicht den Umfang der Bodenerosion richtig beschreibt und in manchen Fällen sogar falsch am Platz ist. Nicht immer erfolgt ja eine völlige Zerstörung des Bodens. JESSEN (1951) spricht von „Bodenverschlechterung“, wobei wohl eine Bodenschädigung ausgedrückt, aber das Prozeßfeld nicht gut beschrieben wird. Bodenverschlechterung wird ja auch von diversen bodengenetischen Vorgängen ohne Einfluß von Erosion bewirkt. Dasselbe gilt für KAYSER (1952) mit seinem Terminus „Bodenverheerung“. RICHTER (1965) sieht im Ausdruck „anthropogener Bodenabtrag“ die beste Lösung, weil nach LOUIS (1961) der Mensch bei bestimmten Wirtschaftsweisen besondere Abtragungsvorgänge des natürlichen Prozeßgefüges ins Rollen bringt. Ich möchte mich der Meinung RICHTERS (1965) anschließen, daß die krampfhaftige Suche nach einem guten, allumfassenden deutschen Ausdruck nicht viel Erfolg verspricht und im übrigen die Bezeichnung „Bodenerosion“ (soil erosion) von Fachleuten und Laien gleich gut verstanden wird. Ihr an die Seite stellen kann man guten Gewissens nur den Begriff „Bodenabtrag“, der im folgenden auch synonym für Bodenerosion verwendet wird.

Die ersten quantitativen Angaben über die Bodenerosion in Europa stammen von WOLLNY (1895), der einfache Abspülmessungen auf Testflächen durchführte. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika begann man schon 1917 die ersten Testflächen an der Universität von Missouri (MILLER) einzurichten. Am Beginn der dreißiger Jahre setzte in den USA eine großzügige Bodenerosionsforschung ein und 44 Teststationen in verschiedenen Regionen wurden angelegt. Die Testflächen variierten in der Breite zwischen 2 bis 7 m und in der Länge von 10 bis 200 m. Auch kleinere natürliche Einzugsgebiete bis zu 5 ha suchte man in die Studien einzubeziehen. Bis in die fünfziger Jahre dauerte die Periode der Datensammlung an. Die ersten Bodenverlustgleichungen wurden 1940 aufgestellt. Aber erst durch die Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung war es in den fünfziger Jahren möglich, die Unmengen von Daten auszuwerten (darunter ca. 65.000 Niederschlagsereignisse). WISHMEIER und SMITH (1965) stellten die „Universal Soil Loss Equation“ (USLE) auf.

Ab 1950 ging man sukzessive dazu über, die Regensimulation anzuwenden. In Europa begann SCHULTZE 1950/1952 auf Testparzellen in Thüringen mit systematischen Meßreihen. In der Bundesrepublik Deutschland schlossen sich 1951 KURON und JUNG in Hessen an (JUNG

1956), gefolgt von DUBBER (1967) und BECHTLE (1973 und 1974) in Baden-Württemberg und RICHTER (1974, 1975 u. a.) im Moseltal. Aus der Deutschen Demokratischen Republik sind die Arbeiten von FLEGEL (1962, 1970) wichtig. Aus Polen sind die Untersuchungen von GIL (1972) und SLUPIK (1974) aus der Forschungsstelle Szymbark hervorzuheben. In den siebziger Jahren wurden in vielen Ländern Europas (darunter in der Schweiz, in Jugoslawien, Italien und Ungarn) mehr oder weniger gut ausgestattete Forschungsstellen und Testflächen zur Gewinnung von realen Meßwerten der Bodenerosion eingerichtet. Dies war auch nötig, weil man sich zwar zum Großteil über die theoretischen Zusammenhänge der maßgebenden Faktoren der Bodenerosion im klaren war, nicht aber über die Einflüsse der großen regionalen Unterschiede des Klimas, des Bodens, der Bodenbearbeitung etc., die in allgemeine Formeln nicht einzubauen sind.

2. REGENSIMULATION

Die Regensimulation ist die kontrollierte Herstellung von Regentropfen und ihre Aufbringung auf Testflächen. Die Regentropfen werden hauptsächlich durch zwei Techniken erzeugt, durch Kapillarröhren oder durch Düsen. Der Kapillarröhren-Typ wird bei kleinflächigen Experimenten verwendet, besonders im Labor, der Düsen-Typ bei größeren Flächen und im Freien.

Was sind die Vorteile, mit Regensimulation zu arbeiten? Regensimulatoren sind sehr kostengünstig. Durch den großen Grad an Kontrolle, die man bei der Regensimulation über verschiedene Parameter hat (Zeit, Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität, Tropfengröße u. a.), können die Kosten pro Einheit an erzielten Meßergebnissen gegenüber den Kosten auf Testflächen, die auf natürlichen Regenfall angewiesen sind und zumeist lang dauernde Experimente erfordern, sehr klein gehalten werden. Ein großer Kostenanteil bei den Versuchen entfällt nämlich auf das Beobachtungspersonal, das bei Feldversuchen auch viele Monate bezahlt werden muß, um die Testflächen und Apparate zu pflegen, selbst wenn lange Zeit wegen Ausbleibens von Regen keine Daten anfallen.

Allerdings ergeben sich für die Regensimulation auch gewisse Grenzen. So lassen sich nicht alle Regenfallcharakteristika simulieren. Zum einen können die Simulatoren des Kapillarröhren-Typs nur Tropfen von sehr begrenzter Größe erzeugen. Zum anderen erreichen die meisten Simulatoren nicht die Endfallgeschwindigkeit bei allen Tropfengrößen, sondern oft nur 40–50% der kinetischen Energie eines vergleichbaren natürlichen Niederschlags auf den Boden. Gerade die kinetische Energie wird heute aber als wichtigster Parameter für die Erosivität des Niederschlags angesehen. Desweiteren ist es aus Kosten- und Zeitgründen nicht leistbar, bei Feldversuchen mit Regensimulationen wichtige Faktoren wie Bodeneigenschaften, Hangneigung und Bodenbedeckung im Verein mit dem Niederschlag so zu variieren, um die Methoden der Interferenzstatistik voll anwenden zu können. Aus diesen und anderen Gründen müssen deshalb bei der Regensimulation verschiedene Kompromisse geschlossen werden (vgl. unten).

3. FAKTOREN DER BODENEROSION DURCH WASSER

Die wichtigsten Faktoren der Bodenerosion sind der Niederschlag (vor allem seine Intensität), bestimmte Bodeneigenschaften, die Hangneigung und die Art der Bodenbedeckung. Diese Faktoren werden im folgenden unter Einbeziehung einschlägiger internationaler Forschungsergebnisse besprochen. Sie bilden die Grundlage für die Analyse der im nachfolgenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse eigener Regensimulationen im Flach- und Hügelland Niederösterreichs.

3.1. Niederschlag

Während der Niederschlag einen Boden ohne Vegetation voll trifft, wird der Freilandniederschlag durch die Vegetation hinsichtlich seiner Wirkung als auslösender Faktor der Bodenerosion wesentlich beeinflusst. So wird die kinetische Energie und die Menge des den Boden erreichenden Niederschlags in der Regel reduziert.

Die Niederschlagsbilanz unter Vegetation kann mit folgenden Gleichungen beschrieben werden:

$$(1) N = D + S + I$$

$$(2) D = (Dt + Da)$$

$$(3) N_h = S + D$$

Gleichung (1) beschreibt die Niederschlagsbilanz unter Vegetation. Vom Freilandniederschlag (N) ist nur jener Teil, der den Bestandsboden erreicht (N_h), hydrologisch wirksam (vgl. Gleichung 3). Dieser Teil ergibt sich aus dem „Durchregnen“ durch die Vegetation (D) und dem „Stammabfluß“ (S). Ein Teil des Freilandniederschlags wird durch Benetzung der Blattflächen festgehalten bzw. zwischengespeichert („Interzeption“ (I)) und bleibt hydrologisch unwirksam (vgl. unten). Das Durchregnen ist das Resultat des „durchtropfenden“ (Dt) und des „abtropfenden“ (Da) Niederschlags; vgl. Gleichung (2).

Zwischen der Interzeption und dem Durchregnen bestehen wichtige hydrologisch wirksame Beziehungen. Ein Teil des Freilandniederschlags wird durch die Blätter gespeichert. Sobald das Speichervermögen der einzelnen Blätter, abhängig von Blattwinkel, Blattform und -größe, Oberflächenspannung des Wasserfilms auf der Blattfläche, Windeinfluß, Niederschlagsintensität etc. überschritten ist, führt eine weitere Wasserzugabe auf das Blatt zur Ansammlung von Tropfen an den Rändern oder dem tiefsten Punkt des Blattes. Bei weiterer Benetzung der Blattfläche wird der Punkt überschritten, wo die Oberflächenspannung des Wassers noch ausreicht, die Tropfen an der Blattoberfläche zu halten. Von den Blatträndern wird es also abtropfen und entweder wieder durch die nicht von Blättern bedeckten Teile durchtropfen und den Boden erreichen oder auf darunter liegende Blätter oder Äste tropfen. Durch diese „Zwischenspeicherung“ der Regentropfen auf der Pflanzenoberfläche (hauptsächlich Blattwerk) kann die Tropfengröße und damit, je nach Blatthöhe über Grund, die Wirkung, die der Tropfen auf die Bodenfläche ausübt, stark verändert werden. Ein gering intensiver Regen, der damit auch eine kleinere durchschnittliche Tropfengröße hat und somit eigentlich wenig Arbeit im Sinn von Splasherosion vollbringt, kann durch ein Blätterdach in z. B. 10 m Höhe (Bäume) in großen Tropfen umgewandelt werden, die aus dieser Höhe dann schon Endfallgeschwindigkeit erreichen und einen unbedeckten Boden stark erodieren können. Liegt die Pflanzendecke in geringer Höhe über Grund (Gräser, die meisten Ackerkulturpflanzen), so wird diese Tropfengrößenumwandlung dagegen keine große Rolle spielen, da dann von den vergrößerten Tropfen beim Abtropfen nur geringe Geschwindigkeiten erreicht werden. Ein Starkregen wird dagegen in seiner Wirkung auf den Boden meist abgeschwächt und zwar sowohl von Bäumen, als auch im besonderen von tiefer liegenden Pflanzendecken.

3.2. Interzeption

In der Literatur wird die Interzeption auch als „Interzeptionsverlust“ bezeichnet, weil sie in der Niederschlagsbilanz unter Vegetation als Restgröße fungiert (vgl. Gleichung (1)). Dies rührt daher, daß ein Teil des auf den Blättern gespeicherten Freilandniederschlags von den Pflanzen direkt aufgenommen wird oder verdunstet und somit nicht an den Boden abgegeben wird.

Wegen der Beziehungen zwischen Interzeption und Durchregnen und ihren Auswirkungen auf die Bodenerosion ist es notwendig, der Interzeption großes Augenmerk zu schenken. Die

Interzeptionsverluste stammen aus den ersten Regenmengen. Wo viele Niederschlagsereignisse von kurzer Dauer sind oder geringe Gesamtmengen aufweisen, können dichte Vegetationsbestände zwischen 25–40% des jährlichen Niederschlags interzipieren (CHOW 1964, 6, S. 6–9). Herrschen größere Niederschlagsintensitäten vor (oder sind die Einzelniederschlagsmengen größer) und ist der Himmel öfters bewölkt, sind die Prozentsätze geringer. MÜLLER (1971, S. 203) stellte z. B. fest, daß bei Niederschlägen über 10 mm das Durchregnen unter reifem Weizen ca. 50% des Freilandniederschlags ausmacht; bei geringeren Niederschlägen kann der Interzeptionsverlust bis über 80% ausmachen. Aufgrund dieser Ergebnisse nimmt es nicht Wunder, daß von verschiedenen Forschern nur sehr geringe Korrelationen zwischen Ertrag (Trockensubstanzzuwachs) und meteorologischem Niederschlag festgestellt werden konnten.

Aus diversen Untersuchungen zum Interzeptionsverhalten von RENGGER und STREBEL (1980), unveröffentlicht, zitiert in Hoyningen-Huene (1981), BARFIELD (1973) und HOYNINGEN-HUENE (1981) geht hervor, daß in erster Linie die zur Verfügung stehende Blattfläche bzw. andere Sproßteile für die Interzeptionsverluste wichtig sind. HOYNINGEN-HUENE (1981, S. 38) stellte ein Modell auf, worin er die mikrometeorologischen Einflußgrößen: Freilandniederschlag, Windgeschwindigkeit, relative Feuchte als unabhängige Variable neben dem Blattflächenindex in eine multiple Regression einführt. Die Interzeption bestimmte er lediglich aus zwei Parametern, nämlich dem Freilandniederschlag und der Blattfläche ($r = 0,91$).

$$\text{Interzeption} = -0,42 + 0,245 \cdot N + 0,2 \text{ LAI} - 0,011 \cdot N^2 + 0,0271 \cdot N \cdot \text{LAI} - 0,0109 \text{ LAI}^2$$

N = Freilandniederschlag

LAI = Blattflächenindex

Für den Grenzwert der maximalen Interzeption gilt:

$$I_g = 0,935 + 0,498 \text{ LAI} - 0,00575 \text{ LAI}^2$$

3.3. Stammabfluß

Interessante neue Versuche zum Stammabfluß hat DE PLOEY (1982, S. 144) vorgestellt. Er konnte nachweisen, daß der Stammabfluß einen wesentlichen Beitrag zur Wasserlieferung in den Wurzelbereich liefert. Bei 40–50° Halmwinkel wird der Niederschlag, der über den Büschelbereich auf den Boden kommt, durch den Halmabfluß verdreifacht. Da das von Stämmen (Halmen) abfließende und den Sproßbereich erreichende Wasser leichter infiltrieren kann, wird die kritische, einen Oberflächenabfluß erzeugende Niederschlagsintensität oft sehr weit hinaufgesetzt. DE PLOEY (1982, S. 151) setzt sie für Gräser in Büschelanordnung auf 30–50%. Somit kann bei dieser Art von Vegetation ein Niederschlag fallen, der um 50–100% größer ist, als auf Brache, bevor es zum Abfluß kommt. – Im einzelnen sind viele Faktoren zu berücksichtigen. So wurden bei Kartoffeln an die Stengel kleine Trichter mit Dichtungsmasse angeklebt und die Wassermenge in Flaschen gesammelt. Bei fortschreitendem Alter der Kartoffelstauden senkten sich die Stengel und ein Großteil des früher zum Stammhals fließenden Wassers tropfte von den abgeborgenen Pflanzenteilen als „abtropfender Niederschlag“ ab.

3.4. Durchregnen

Das Durchregnen (= durchtropfender und abtropfender Niederschlag) wird meist mit Hilfe von Auffanggefäßen bestimmt, die unter der Vegetationsdecke plaziert werden. Dies geht natürlich bei höherer Vegetation, besonders der Baumvegetation, leicht, bei niedrigen Wuchsformen schwierig bis gar nicht (z. B. Gräser). Wichtig ist eine zufällige Verteilung der Meßgefäße.

3.5. Bodeneigenschaften

Neben dem kinetischen Energieinput „Regen“ ist der Faktor „Boden“ die zweitwichtigste Kenngröße zur Erklärung der Bodenerosion. Während in der englischsprachigen Literatur die Kraft des Niederschlags mit „erosivity“ bezeichnet wird (übersetzt Erosivität des Regens), wird die Abspülfähigkeit des Bodens mit „erodibility“ ausgedrückt (übersetzt Erodibilität des Bodens). Durch Naturbeobachtung und Laborversuche konnte man feststellen, daß die für die Bodenabspülung maßgeblichen Faktoren sehr komplex zusammenhängen und im einzelnen nur schwer isoliert quantifiziert werden können. Dies ist bei den folgenden Hinweisen zu berücksichtigen. Allgemein gilt, daß Böden mit hohem Schluffanteil sehr abspülgefährdet sind. Je geringer der Schluffanteil wird – egal, ob deshalb die Sandfraktion oder die Tonfraktion ansteigt –, desto abspülungsresistenter werden die Böden. Der nächste analytisch feststellbare Faktor, der dann im Strukturkomplex besonders zum Tragen kommt (siehe unten bei Aggregate), ist der Gehalt an organischem Material. Je höher der Humusgehalt, desto stabiler sind die Böden im allgemeinen. Ausnahmen liegen bei sehr hohen Humusgehalten, wo eine hydrophobe Umkleidung der Bodenpartikel gebildet werden kann, die zur Infiltrationshemmung und zu stärkerem Abfluß und somit zu mehr Erosion führt. Bodenkenngrößen wie Struktur und Strukturstabilität sind weit schwieriger zu quantifizieren und können über die Bestimmung der Aggregatgröße und des Aggregatzerfalls bei Wassereinwirkung, seien es Tropfenaufschlag oder nasse Siebung, festgestellt werden.

Einen weiteren wichtigen Kennwert ergibt die Infiltration, die ja schon ein Summenbild von Bodenkennwerten ist. Die Infiltration läßt sich durch Versuche im Feld mittels Doppelringinfiltrometer (ruhiges Einsickern) oder durch Kleinregner (1 m²) messen. Doppelringinfiltrometer bestehen aus zwei konzentrischen Zylindern. Meist verwendet man verzinktes Blech. Sie werden einige Zentimeter in den Boden eingelassen und der Zylinderring mit Wasser gefüllt.

Der innere Zylinder ist die Meßkammer, wo entweder laufend Wasser während des Versickers ergänzt wird, oder die Abnahme der Wasserhöhe beim Versickern verfolgt wird. Der äußere Ring dient nur der Ausschaltung von Randeffekten. Die Messung der Infiltration durch Kleinregner ist die genaueste Form der Analyse, da damit der Naturvorgang besser simuliert und auch die kinetische Komponente der Wasserbeeinflussung erfaßt wird.

Das Wassergehalt des Bodens vor Eintritt des Niederschlags ist ein weiterer wichtiger Faktor für das Abspülereignis. Ist der Boden schon stark mit Feuchtigkeit gestättigt, können nur mehr geringe Wassermengen aufgenommen werden, bevor die Kapazität überschritten wird und es zum Oberflächenabfluß kommt (siehe unter Infiltration). Um Werte von Abspülungsereignissen vergleichen zu können, muß man deshalb die Bodenfeuchte vor Einsetzen des Niederschlags kennen.

3.6. Infiltration

Neben der Interzeption vermindert die Infiltration die Menge des eventuell für einen Oberflächenabfluß zur Verfügung stehenden Wassers, das dann Erosionsleistung vollbringen kann. Die Infiltration entspricht der Bewegung des Sickerwassers von oben nach unten. Die Infiltrationsrate gibt dann die Wassermenge an, die in einer Zeiteinheit versickert.

Für das Ausmaß der Infiltration, sei es die insgesamt in einer Zeiteinheit versickerte Wassermenge oder die Infiltrationsrate, ist die Art, Anzahl und Größe der Poren im Boden verantwortlich. Die Wassermenge, die durch die Poren fließen kann, ist in besonderem Maße vom Radius der Poren abhängig. Im Oberboden tritt die Bedeutung der korngrößenbedingten Primärporen für den Wassertransport hinter die gefügebedingten Sekundärporen (Groporen) zurück. Solange Wasserzugabe auf ein Bodenprofil unter der Rate der Infiltrationskapazität

bleibt, wird der Boden das Wasser aufnehmen können so schnell es aufgebracht wird, und die Aufbringungsrate bestimmt demnach die Infiltrationsrate. Sobald die Wassergabe die Infiltrationsrate aber übersteigt, bestimmt die dem Boden eigene Infiltrationsrate die aktuelle Infiltration. Dieser Umstand muß in Betracht gezogen werden, wenn man z. B. mit einem Doppelringinfiltrometer im Gelände die Einsickerungsgeschwindigkeit bzw. kumulative Einsickerungsmenge von Wasser in das Bodenprofil mißt. Dabei wird eine gewisse Wasserhöhe plötzlich auf eine Bodenfläche aufgebracht und ihre Höhe durch laufende Wasserzugabe erhalten. Damit versucht man den Effekt einer Überstauung zu simulieren, der in der Natur bei Starkregen auftritt, wenn die Niederschlagsintensität die Infiltrationsrate übersteigt und sich ein Oberflächenwasserfilm bildet.

Man hat festgestellt, daß die Infiltrationsrate im Verlauf der Zeit abnimmt. Graphisch dargestellt erscheint sie als eine zeitabhängige Kurve mit einem ständig sich verflachenden Anstieg. Die Infiltrationsrate ist primär von der Bodenart, Struktur und Gefügeeigenschaften und vom Ausgangswassergehalt des Bodens abhängig. Sie erreicht im Verlauf der Zeit einen relativ konstanten Wert, den HILLEL (1971, S. 1) „steady-state infiltrability“ nennt und damit die sich kaum mehr ändernde Infiltrationsrate eines Ausgleichszustandes bezeichnet.

Das Absinken von anfänglich höheren Infiltrationswerten pro Zeiteinheit zu den relativ niedrigen des „steady-state“ Zustandes ist hauptsächlich auf die Abnahme des sog. „Matrixpotentials“ zurückzuführen, das unweigerlich auftritt, sobald der Infiltrationsvorgang in die Tiefe des Bodenprofils fortschreitet.

Neben der Gravitation ist die Saugspannung die wichtigste Kraft, die zur vertikalen Wasserverlagerung führt. Der Saugspannungsgradient ist bei einem trockenen Boden nach Befeuchtung zuerst sehr steil und wird mit wachsender Benetzungsfront in der Tiefe immer flacher. Die Infiltrationsrate nähert sich allmählich einem steady-state Wert, der schwerkraftbedingt ist und ungefähr der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (kf) entspricht.

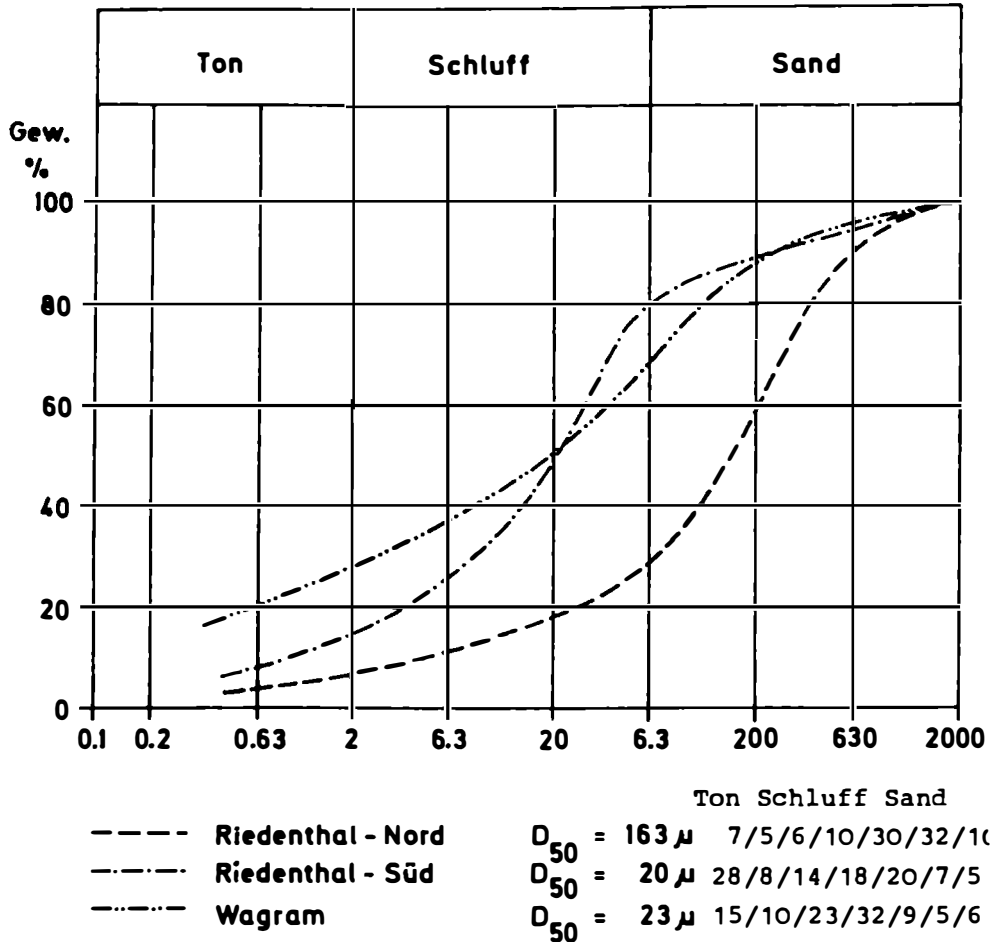
Erfolgt die Wasserzufuhr auf ein Bodenprofil mit geringerer Intensität, als der Wert für die gesättigte Leitfähigkeit beträgt, dann entspricht die Infiltrationsrate der ungesättigten Leitfähigkeit bei dem betreffenden Wassergehalt. Dabei bildet sich nun keine Sättigungszone aus und die Abwärtsbewegung des Wassers erfolgt in der Transportzone unter dem Einfluß der Schwerkraft. Zu diesem Einfluß, der auf den Eigenschaften der Matrix beruht, kommen noch weitere Vorgänge im Lauf des Infiltrationsprozesses, welche die Infiltrationsrate vermindern. Im Verlauf der Wasserperkolatation können Feinteile der Bodenmatrix in die größeren Poren eingespült werden und diese teilweise verstopfen. Diese Einwaschung von Feinbestandteilen erfolgt, nachdem die Gefügestabilität des Bodens verschlechtert wurde. Dabei kommt es zu Mini-Rutschvorgängen (slumping), weil die Kohäsion der Gefügeelemente durch Wassereinfluß vermindert wurde. Die Bestandteile, die in die Poren eingewaschen wurden, stammen aus höheren Zonen des Bodens; hauptsächlich aus der obersten Schicht, die mechanisch am stärksten beansprucht wird. Dies geschieht erstens durch den Fließvorgang und zweitens – schon bevor dieser einsetzt (bei Niederschlagsereignissen) – durch die Prall- und Planschwirkung (Splash) der Regentropfen. Durch beide Vorgänge werden Bodenaggregate mechanisch zerkleinert und ihre Feinsubstanz (Ton- sowie Humuskolloide) in die Bodenporen eingewaschen.

Der Saugspannungsgradient ist, „trockenen“ (nicht gesättigten) Boden zu Beginn des Infiltrationsvorgangs vorausgesetzt, am Anfang bedeutend größer als der Gravitationsgradient. Somit ist die anfängliche Infiltrationsrate in horizontaler und vertikaler Richtung fast gleich groß. Dieser Umstand ist wichtig für Furchen (siehe Bodenbearbeitung), von denen das Wasser horizontal genauso schnell infiltrierte wie nach unten.

4. ERGEBNISSE DER EIGENEN REGENSIMULATIONEN

Um die Faktoren der Bodenerosion und ihre Zusammenhänge unter den im östlichen Österreich herrschenden Bedingungen zu analysieren, wurde die direkte Methode der Messung mittels Regensimulation auf drei Testflächen gewählt. Nur auf diese Weise ist es möglich, die Abtragsmengen, ihre Zusammensetzung usw. auf Bodeneigenschaften, Niederschlagscharakteristik u. a. zu beziehen. Aus Kostengründen war es nur möglich, mit zwei Regenintensitäten zu arbeiten und drei Bodenarten auf ihr Abspülungs- und Splashverhalten zu untersuchen. Die Bodenbedeckung variierte zwischen Brache, Weizen, Kartoffel, Weinbau und Weinbau mit Mulchsystem. Die angewandten Methoden und die dabei erzielten Ergebnisse werden im folgenden beschrieben.

KORNGRÖSZENANALYSE



Figur 1

4.1. Auswahl der Testflächen

Bei der Auswahl der Testflächen sollten bezüglich des Faktors „Bodeneigenschaften“ solche Bodenarten ausgewählt werden, die weitläufig im Weinviertel und im östlichen Alpenvorland vorkommen. Auszuwählen waren daher eine Testfläche mit Löß, eine Testfläche mit einem sandigen Substrat und schließlich eine Testfläche mit einem mehr bindigen Sediment.

Die Testfläche „Riedenthal – Nord“ (RI-N) bezieht sich auf den Boden eines steileren, südschauenden Hanges eines kleinen Tales, das von den Höhen des Hochleithenwaldes zum Rußbach herabführt. Der Boden ist ein kalkhaltiger Kulturrohoden aus Tertiärsanden. Er ist ziemlich lose zerfallend, was sich auch in der Aggregatstabilität niederschlägt. Humusgehalt = 2,1% (nasse Verbrennung), pH = 7,6 (in nKCl). Die Neigung der Testfläche beträgt 14 Grad. – Die Testfläche „Riedenthal – Süd“ (RI-S) befindet sich am gegenüberliegenden, nordschauenden Hang. Sie ist flacher (10 Grad Neigung) und liegt im Bereich des starken Wechsels von tonigen und sandigen Tertiärsedimenten, die teilweise auch noch eine dünne Lößhaut tragen. Der Bodentyp ist Tschernosem aus bindigen Tertiärsedimenten. Humusgehalt = 3,1% (nasse Verbrennung), pH = 7,2 (in nKCl). – Die dritte Testfläche „Wagram“ (Wa) liegt im östlichen Alpenvorland an der Grenze zur Böhmischen Masse am Ostabfall des Dunkelsteinerwaldes zur Traisen hinab, mit mächtigen Lössen. Die Hangneigung beträgt 9 Grad. Der Bodentyp ist ein Kulturrohoden bzw. Tschernosem aus Löß. Humusgehalt = 2,8% (nasse Verbrennung), pH = 7,4 (in nKCl).

Die Testflächen waren 5 × 6 m groß, und unten sowie seitlich mit Blechprofilen eingegrenzt. Um einen guten Übergang von Boden auf das Blech zu erreichen, wurden die untersten 40 cm mit einem Bodenfestiger besprüht. Von den Leitblechen lief das Abgespülte in einer Regenrinne in ein Auffangbecken mit Pegelablesung.

4.2. Methode der Regensimulation

Da die komplizierten und teuren Regensimulatoren (z. B. USA-Typ) aus Kostengründen, Mitarbeitermangel etc. von vornherein für mich als Anwender ausschieden, suchte ich am heimischen Markt nach Beregnern. Ein Schwenkregner, der rechteckig abgrenzbare Areale bewässerte, ergab nach Tests die besten Resultate und wurde von mir umgebaut, um die gewünschten Wassermengen, Intensitäten und Tropfengrößen zu liefern. Bei diesem werden Schwenkrohre (40 × 1,25 mm) zu Längen von 5 m mit oben aufgesetzten Messingdüsen durch einen Wassermotor in einstellbare Drehungen versetzt. Der Schwenkapparat „Hydromot“ besteht aus einem Messinggußgehäuse. Der Bewegungsantrieb erfolgt durch eine Membran über Zahnrad und Zahnstange. Die Membran wird jeweils von der einen oder anderen Seite mit Druckwasser gespeist. Der Umsteuermechanismus aus rostfreiem Stahl beruht auf einem Fallgewicht, das einen Reversierhahn betätigt. Die Drehbewegung der Düsenrohre kann nun durch Einstellbacken begrenzt werden, die den Schwenk durch das Fallgewicht stoppen und in die Gegenrichtung lenken. Die Wurfweite wird primär über Wasserdruck in der Zuleitung, über die Düsengröße und über den oberen Reversierhahn gesteuert. Die Abdichtung der Hohlwelle erfolgt durch Simmerringe. Der Hydromot samt Schwenkrohren sitzt auf einem Dreifußständer. Der Schlauchanschluß wird durch Schnellkupplungen hergestellt. Außerdem besitzt der Dreifußständer ein Manometer zur Einregulierung des gewünschten Druckes. Die Düsenrohre werden durch Rohrstützen aus Schmiedeeisen gehalten. Fabriksmäßig sitzt der Hydromot auf dem Dreifußständer in ca. 1,40 m Höhe und die Düsenrohre sind mit je 12 Messingdüsen (1 mm Bohrung) ausgestattet. Damit wird bei 2 bar Druck in der Zuleitung und einer einfachen Wurfweite von 6 m ein mittlerer Stundenniederschlag von 10,5 mm auf die Fläche gebracht. Eine weitere Modifikation der Anlage betraf die Höhe der Düsenrohre über Grund. Fabriksmäßig wird

die Anlage in ca. 1,20 m über dem Boden betrieben. Aus zwei Gründen ergab sich aber die Notwendigkeit, einen ca. 2 m hohen Dreifußständer und 2 m hohe Rohrstützen zu verwenden. Erstens sollte das Düsenrohr über den Bewuchs herausgehoben werden (Weinbau-Hochkultur), und zweitens mußte versucht werden, eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit der Tropfen zu erreichen, damit das V_e der Simulation dem V_e des natürlichen Niederschlagsereignisses so nahe wie möglich kommt.

Nach Niederschlagsstatistiken und Arbeiten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien, sowie der Dissertation von BRUCKMAYER (1965) ergaben sich für das Weinviertel und Marchfeld 1,5 mm/min als die höchste Intensität des Niederschlags bei mehr als 5 min Dauer. Aufgrund der Gebietsniederschlagscharakteristik entschied ich mich daher, die Versuche mit zwei Regenintensitäten (und daher auch verschiedenen Tropfenspektren) durchzuführen: (1) 40 mm/h (= 0,66 mm/min) als Repräsentant für länger andauernde Niederschläge, die erst nach 11 Minuten einem Starkregen nach der Wusow-Formel gleichkommen und (2) ein 90 mm/h (= 1,5 mm/min) als Typ der kurz dauernden Starkregen. Dazu war es natürlich notwendig, die Berechnungsanlage zu modifizieren. Infolge der Größe der Testflächen von 6×5 m (30 m²) fiel nur die halbe Wurfweite an, was die Geschwindigkeit der Schwenkbewegung verdoppeln ließ (Modifizierung am Schwenkmechanismus). Demnach war ein mittlerer Stundenniederschlag von 20 mm zu erwarten. Um einen Stundenniederschlag von 40 mm bei kleineren Tropfengrößen zu erreichen, mußten also nur noch doppelt so viele Düsen in die Schwenkrohre eingebohrt werden. Die höhere Niederschlagsintensität 90 mm/h wurde durch eine Vergrößerung der Düsen auf 1,5 mm Durchmesser erreicht, was etwas mehr als der Verdoppelung des Ausströmungsquerschnittes entspricht. Dazu wurde der Druck in der Zuleitung auf ca. 2,2 bar angehoben. Bei 40 mm/h wurden somit 19,8 l/min auf die Testfläche aufgebracht und bei 90 mm/h 45 l/min.

Eine detailliertere Beschreibung der Regensimulation, der Tropfenverteilung (Tropfenspektrum), der kinetischen Energie etc. erfolgte in der Habilitationsschrift an der Grund- u. Integrativwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien (1983), im Geographischen Jahresbericht aus Österreich (1983) und in den Sitzungsberichten der Kommission für Geomorphologischen Forschung und Kartierung (IGU), Cikhay Tagung (1985).

4.3 Durchregnen

Das Durchtropfen durch das Blätterdach und das Abtropfen vom Blattwerk wurde mit Hilfe von Trichtern, die in Plastikflaschen steckten, bestimmt. Die Probenflaschen wurden bei der Weinbau-Hochkultur unter das Blätterdach in jeweils zwei Reihen gestellt, bei Kartoffel und Weizen im Quadratraster zu je 20 cm Seitenlänge. Zu den Meßzeitpunkten wurde dann jeweils eine Serie von Probeflaschen aus dem Bestand entnommen. Mindestens zwei Beregnungsversuche waren nötig (mit Abtrocknen dazwischen), weil nicht so viel Auffanggefäße vorhanden waren. Die ersten, geringen Mengen des Durchregnens mußten mittels einer Meßpipette erfaßt werden. Zu den späteren Zeitpunkten genügte ein Meßglas.

Beim Vergleich der zwei Niederschlagsintensitäten fällt auf, daß bei Kartoffeln anfangs selbst beim gleichen Mengeninput, z. B. 3 mm Niederschlag (N), der Anteil des Durchregnens bei der größeren Intensität um einige Prozentwerte höher liegt. Dies trifft aber nur bei den ersten paar Minuten der Beregnung zu. Danach egalisiert sich der Unterschied und gleicher N ergibt (wenn auch natürlich zu verschiedenen Zeiten) den gleichen Prozentsatz an Durchregnen und Abtropfen. Die Anfangsprozentsätze zeigen bei der geringen Beregnungsintensität noch den Zustand des geringen Abtropfens an. Die Erklärung, warum die höhere Beregnungsintensität anfangs zu höheren Werten des Durchregnens führt, konnte aus den Feldbeobachtungen

Tabelle 1: Durchregnen, Kartoffel

Niederschlag mm	Durchregnen in % von N Beregnungsintensität	
	0,66 mm/min	1,5 mm/min
1,33	30	
3,0		50
3,33	46	
6,66	54	
7,5		56
9,99	57	
13,33	61	
15,0		63
16,65	63	
22,5		66

abgeleitet werden. Die höhere Anzahl der größeren Tropfen (bei der Intensität 1,5 mm/min), die mit ihrer hohen Aufschlagsenergie die Blätter anfangs nicht kontinuierlich benetzen, sondern, wenn sie diese randlich treffen, mit Wucht herabdrücken und sofort davon abtropfen, bewirkt, daß kaum Wasser für das Abfließen entlang der Rispen übrig bleibt. Erst nach völliger Blattbenetzung kommt es zum Einspielen des unter Interzeption geschilderten Ablaufs und gleichartigen Prozentsätzen bei hoher und niedriger Intensität. Der im Vergleich zur niedrigen Intensität höhere Anteil des Durchregnens in der Anfangsphase ist also meines Erachtens auf den relativ gesteigerten Abtropfwert zurückzuführen.

Auch bei Weizen hat die vorhin getroffene Aussage Gültigkeit. In der Anfangsphase bis ca. 5 mm N erfolgt stärkeres Durchregnen und Abtropfen bei der höheren Beregnungsintensität. Danach ergeben wieder gleiche N ungefähr gleiches Durchregnen und Abtropfen.

Tabelle 2: Durchregnen, Weizen

Niederschlag mm	Durchregnen in % von N Beregnungsintensität	
	0,66 mm/min	1,5 mm/min
1,33	31	
3,0		43
3,33	40	
6,66	44	
7,5		48
9,99	48	
13,33	52	
15,0		53
16,65	52	
22,5		55
30,0		54
37,5		55

MÜLLER und RUCKENBAUER (1973) S. 17 haben ebenfalls diesen Trend feststellen können. Sie haben das Durchregnen in Weizenbeständen bei natürlichen Regenfällen gemessen; ihre Werte sind aber auf Freilandniederschläge pro Tag bezogen, was einen unmittelbaren Vergleich nicht zuläßt. Sie beobachteten bei Tageswerten von

- N = 14,9 mm ein Durchregnen und Abtropfen von 50%
 6,9 mm ein Durchregnen und Abtropfen von 46%
 3,0 mm ein Durchregnen und Abtropfen von 42%
 0,6 mm ein Durchregnen und Abtropfen von 16%

Obwohl man aus den Ergebnissen keinen Schluß auf verschiedenes Verhalten bei unterschiedlichen Regenintensitäten ziehen kann, weil die genannten Tageswerte aus verschiedenen intensiven Regenfällen stammen können, zeigen auch ihre Werte denselben Trend an. Aus ihren und meinen Experimenten ist abzuleiten: Bei geringmächtigen Niederschlägen kommt ein geringer Prozentsatz des Freilandniederschlages als Durchregnen und Abtropfen bis zum Bestandsboden. Bei höheren Mengen kommt ein höherer Prozentsatz bis zum Boden. Der Grenzwert dürfte bei ca. 55% des Niederschlages liegen. Aus meinen Untersuchungen (hohe – niedrige Regen-Intensität) ist noch weiter abzulesen: Höhere Intensitäten bringen bei gleicher Niederschlagsmenge mehr Wasser in Form des Durchregnens und Abtropfens bis zum Boden als niedere Intensitäten. Der Grenzwert dürfte etwas über 5 mm N betragen. Darüber verhalten sich die Intensitäten dann gleich. Als Erklärung für diese Tatsache kann wohl nur das Abtropfverhalten, der Halmabfluß und der Zeitfaktor herangezogen werden.

Tabelle 3: Durchregnen, Wein-Hochkultur

Niederschlag mm	Durchregnen in % von N Beregnungsintensität	
	0,66 mm/min	1,5 mm/min
1,33	37	
3,0		44
3,33	43	
6,66	51	
7,5		52
9,99	58	
13,33	62	
15,0		65
16,65	69	
22,5		76
30,0		81

Die Werte für das Durchregnen bei Weinbau-Hochkultur sind ähnlicher der Kartoffeln als dem Weizen, was aus der Blattstruktur verständlich erscheint. Bei der Weinrebe steigen die Prozentwerte des Durchregnens aber bei höheren Niederschlägen stärker an als bei Kartoffeln. Der hohe Prozentsatz für das Durchregnen bei höheren Niederschlägen erreicht etwa 60–80% des Freilandniederschlages, was einer Verdoppelung der Anfangswerte entspricht. Dies kann auf den großen Blattflächenindex von LAI-8 zurückgeführt werden. Erst bis alle Blattstockwerke benetzt sind, kommt es zum Abtropfen und der hohe Grad des Durchregnens zu den späteren

Zeitpunkten wird durch das Abtropfverhalten erklärlich. Der Variabilitätskoeffizient für die Zeitmeßreihe verhält sich im Lauf der Zeit auch sehr ähnlich wie bei Kartoffeln. Dies ist besonders bei der geringen Beregnungsintensität zu sehen. Bei der höheren Beregnungsintensität bemerkt man in den Anfangsminuten starke Unterschiede zwischen den Meßreihen. Dies ist durch die großen Unregelmäßigkeiten der Belaubung und Bodenüberdeckung zu erklären. Manche Stellen sind nur wenig bedeckt und fast der gesamte Niederschlag geht direkt ins Meßglas. An anderen Stellen führt die dachziegelartige Anordnung der Blätter im späteren Verlauf dazu, daß mehr Wasser ins Meßglas kommt, als es über der betreffenden Auffangfläche Freilandniederschlag gibt (Abtropfsummation).

Der allgemeine Trend bei allen Kulturen ist aber eine laufende Abnahme des Variabilitätskoeffizienten bei den Meßreihen. Dies bestärkt die weiter oben gemachte Annahme, daß es anfangs zu großen Schwankungen in den Meßergebnissen kommt, weil das Abtropfverhalten noch nicht im Gleichgewicht ist und die Interzeptionswerte noch nicht ihren Grenzwert erreicht haben. Erst danach bleiben die Meßwerte ungefähr auf gleichem Niveau.

4.4. Stammabfluß

Die Stammabflüsse konnten von mir nicht gemessen werden. Sie wurden über die Interzeptionswerte (nach der Modellrechnung von HOYNINGEN-HUENE (1981)) entsprechend der Gleichung $N - I = D + S$ errechnet und dann mit den Angaben aus der Literatur verglichen.

- N = Freilandniederschlag (gemessen bzw. bekannt nach Intensität)
- I = Interzeption (Modell HOYNINGEN-HUENE, 1981 aus N und LAI)
- D = Durchregnen = (Abtropfen + Durchtropfen), gemessen im Feld
- S = Stammabfluß (aus der Gleichung errechnet und mit Literaturwerten verglichen)

Beim Vergleich meiner Werte mit denen von HOYNINGEN-HUENE ergaben sich größere Differenzen nur bei Kartoffeln, wo nach meinen Durchregen- und Abtropfmessungen und den Interzeptionswerten (laut Modell) weit größere Stammabflüsse resultieren. Es dürfte also durch die steiler stehenden Sprossen ein größerer Teil des Niederschlags dem Stammablauf zugute gekommen sein, da eindeutig weniger Durchregnen erfolgte.

4.5. Bodenfeuchte

Wie bereits hingewiesen, stellt der Wassergehalt des Bodens vor Eintritt des Niederschlags einen wichtigen Faktor für das Abspülereignis dar. Ist der Boden schon stark mit Feuchtigkeit gesättigt, können nur mehr geringe Wassermengen aufgenommen werden, bevor die Kapazität überschritten wird und es zum Oberflächenabfluß kommt. Um Werte von Abspülungsereignissen vergleichen zu können, muß man deshalb die Bodenfeuchte vor Einsetzen des Niederschlags kennen.

Für den wichtigsten Vergleich der drei Testgebiete (= Brachesituation) ergaben sich folgende Werte:

- Ri-N 11% Vol. Wassergehalt
- Ri-S 33% Vol. Wassergehalt
- Wa 19% Vol. Wassergehalt

Den Wassergehalt der Böden in den Testgebieten konnte ich in keiner Weise steuern, da ich zeitlich gebunden war und nicht warten konnte, bis sich „vergleichbare“ Situationen ergeben würden. Dabei stellt sich die grundsätzliche Frage: Was sind für meine Testgebiete vergleichbare Situationen? Ein Fall wäre der völlig gesättigte Zustand bei Feldkapazität (pF) = 0 bis

eventuell $pF = 2,5$. Diesen pF -Werten würden Wassergehalte bei Sanden zwischen 5%–40% und bei Lössen zwischen 30%–45% entsprechen. Eine solche Situation tritt als Ausgangspunkt für Abspülungserscheinungen aber sehr selten auf. Wenn sie eintritt, kommt es aber sehr rasch zu bedeutender Bodenabtragung. Im Verlauf meiner Regensimulationen stellte sich dieser Zustand für die obersten Bodenanteile als Endphase jedenfalls ein. Der weitaus häufigere Fall sind aber Regenfälle auf teilweise abgetrockneten Bodenoberflächen. Diese Situation liegt auch meinen Versuchen zugrunde, da ich sie im Verlauf von Juni und Juli 1983 durchgeführt habe, wo es nach einigen Regenfällen wieder zur Abtrocknung der obersten Bodenschicht kam.

Nach den Ausführungen über die Infiltration wird klar, daß neben der Gravitation und der Regenintensität, die Wasserspannung der wichtigste Faktor für die Infiltrationsleistung im Anfangsstadium ist. Sobald nun die pF -Werte in gleichen Größenordnungen liegen, dürfte eine Vergleichbarkeit der Infiltration gegeben sein, und der weitere Vorgang wird dann von den anderen Faktoren wie z. B. Aggregatstabilität etc. gesteuert.

4.6. Infiltration

Für den Fall der höchsten Infiltrationsrate (bei der Versuchsfläche Riedenthal-Nord), gemessen mit Doppelringinfiltrimeter von 4 mm/min bis 5 Minuten Dauer und 1,4 mm/min zwischen 15 bis 20 Minuten, liegt eine gesättigte Wasserleitfähigkeit von 0,21 mm/min vor.

Tabelle 4: Infiltrationsraten Brache

Zeit min	Beregnungsintensität		Doppelring- infiltrimeter mm/min	kf (gesättigt) mm/min
	0,66 mm/min	1,5 mm/min		
RIEDENTHAL – Nord				
0–2	0,66	1,5	} 4,0	0,21
2–5	0,66	1,03		
5–10	0,50	0,60	2,0	
10–15	0,38	0,38	1,6	
15–20	0,27	0,32	1,4	
20–25	0,21			
RIEDENTHAL – SÜD				
0–2	0,66	1,5	} 2,6	0,15
2–5	0,66	0,86		
5–10	0,44	0,46	1,8	
10–15	0,38	0,34	1,6	
15–20	0,126	0,14	1,2	
20–25	0,126			
WAGRAM				
0–2	0,66	1,5	} 1,6	0,10
2–5	0,60	0,7		
5–10	0,446	0,44	1,4	
10–15	0,326	0,32	1,0	
15–20	0,154	0,20	0,87	
10–25	0,10			

Die Werte der Doppelringinfiltrometerinfiltration sind Mittel aus fünf Feldversuchen, die ich unmittelbar vor den Beregnungsversuchen durchgeführt habe. Die Werte für die gesättigte Leitfähigkeit stammen aus dem Labor der Bundesversuchsanstalt in Petzenkirchen (Stechzylinderproben). Da die gleichbleibende Regenintensität von 0,66 mm/min ca. der dreifache Wert des steady-state Zustandes von 0,21 mm/min Infiltrationsrate im gesättigten Zustand ist, sollte im Endzustand ca. 0,45 mm/min abfließen und 0,21 mm/min infiltrieren. In der Realität sind diese hohen Infiltrationswerte kaum vorzufinden, da anfangs das Infiltrationspotential mit dem „Angebot“ von 0,66 mm/min nicht erschöpft wird, aber bald danach die vorhin beschriebenen Prozesse ablaufen, die zu einer drastischen Verringerung der „ungestörten“ Infiltration (Doppelringinfiltrometer) von 4 mm/min bis zu 0,20 mm/min führen. Bei der höheren Regenintensität von 1,5 mm/min wird zwischen 15–20 Minuten 0,32 mm/min Infiltrationsrate erreicht. Verglichen mit 0,27 für 15–20 Minuten bei 0,66 mm/min Beregnung, also etwas höher gelegen, fügt sich dieses Ergebnis recht gut in das oben dargelegte Modell ein, wonach es vom Anfang der Regeninfiltration bis zur völligen Sättigung des Profils, wo es rein profilabhängig wird, eine Abhängigkeit von der Regenintensität gibt und die Wasserhöhe über der Bodenfläche noch einen Einfluß ausübt. (Bei 1,5 mm/min gibt es auch einen dickeren Oberflächenwasserfilm.)

Betrachtet man die Werte bei der Versuchsfläche Riedenthal-Süd, so steht eine Doppelringinfiltrationsrate von 2,6 mm/min von 0–5 Minuten und 1,2 mm/min von 15–20 Minuten einer gesättigten Wasserleitfähigkeit von 0,15 mm/min gegenüber. Unter Regeneinfluß ergibt sich zwischen 15–20 Minuten Beregnung einer Infiltrationsrate von 0,12 mm/min bei 0,66 mm/min Beregnung und 0,14 mm/min bei Beregnungsintensität 1,5 mm/min. Die hier nur minimal höhere Infiltrationsleistung trotz höheren Oberflächenwasserfilms kann sicher auf die Zerschlagung der Aggregate, Einwaschung von Feinsubstanz, Gefügezerstörung etc. zurückgeführt werden, die bei der größeren Regenintensität eben schon früher einsetzt. Die sich bei diesem Boden ausbildende Oberflächenkruste dürfte weiters dazu beitragen, daß die Werte so weit unter die mögliche Infiltration absinken, nämlich genau eine Zehnerpotenz, was einem weit größeren Rückgang entspricht als in Riedenthal-Nord, wo ein Rückgang von 1,4 mm/min (Doppelringinfiltrometer) zwischen 15–20 Minuten auf 0,3 mm/min bei Regeneinfluß ermittelt werden konnte.

Der Löß der Versuchsfläche Wagram hat eine Doppelringinfiltrometer) von 1,6 mm/min von 0–5 Minuten und 1 mm/min von 15–20 Minuten. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit beträgt 0,1 mm/min. Bei Beregnung beträgt dann die Infiltrationsrate zwischen 15–20 Minuten bei 0,66 mm/min, bei 0,66 mm/min Beregnung 0,15 mm/min und bei 1,5 mm/min Beregnungsintensität beträgt die Infiltrationsrate 0,2 mm/min. Auch hier erfolgt der Rückgang durch die Prozesse der Verschlämmung etc. um ca. das Fünffache, gleich den Meßergebnissen für die Versuchsfläche Riedenthal-Nord. Die höhere Niederschlagsenergie bei größerer Regenintensität berührt den Löß scheinbar weniger als die bindigeren Tertiärsedimente, da der Unterschied zwischen schwacher und starker Regenintensität zwischen 15–20 Minuten Beregnung 0,13–0,20 mm/min ausmacht, was den Einfluß des Oberflächenwasserfilms anzeigt und die geringere Auswirkung von Krustenbildung und Einwaschvorgängen auf die Infiltration durch höhere Energie dokumentiert.

Die Infiltrationskurve (bei 0,66 mm/min Beregnung) bei Nutzung „Weizen“ steigt – durch den Interzeptionsverlust bedingt – anfangs langsamer als auf dem betreffenden Brachefeld. Ab ca. 11 Minuten Beregnung kreuzt die Infiltrationskurve für Weizen die betreffende Bracheinfiltration und steigt weiter fast gleichbleibend an, während die Brachekurve abzufallen beginnt. Bei der Beregnungsintensität 1,5 mm/min erfolgt die Kreuzung der Kurven schon weit früher, nämlich bei ca. 5 Minuten. Man kann aus den Meßergebnissen folgendes schließen: Am Anfang der Beregnung geht ein großer Teil des Niederschlags als Interzeptionsverlust der Infiltration verloren. Deshalb liegen zu Beginn die Bracheinfiltrationswerte höher. Bei Brache tritt aber

schon frühzeitig ein Zerschlagen der Oberflächenbodenaggregate und eine darauffolgende Verschlämmung und Krustenbildung ein. Die größeren Poren, die für die schnelle Wasserleitung verantwortlich sind, werden verstopft und die Infiltrationsleistung nimmt drastisch ab. Dies tritt besonders häufig beim hier angesprochenen Boden Riedenthal-Süd mit seinem großen Prozentsatz an Feinmaterial und guter Aggregatbildung auf. Bei geringer Beregnungsintensität erfolgt dieser Vorgang langsamer und die Auswirkung eines beschleunigten Abflusses setzt daher etwas später ein. Es scheint dies eine Funktion der aufgebrachten mechanischen Leistung der Regentropfen zu sein. Bis zu diesen Zeitpunkten erreichen weniger als 50% des Niederschlags in Form des Durchregnens und Abtropfens den Bestandsboden. Leider ist aus meßtechnischen Gründen eine Trennung dieser zwei Niederschlagsanteile nicht möglich (siehe Kapitel Durchregnen) und deshalb kann auch eine quantitative Aussage über die mechanische Energie auf den Boden nicht gemacht werden. Wird der Boden durch Getreide (hier Weizen) vor dem Aufprall der Regentropfen also weitestgehend geschützt, kann eine höhere Infiltrationsleistung länger aufrechterhalten werden, weil nicht so viel Verschlämmung eintritt. Der zweite begünstigende Umstand ist der Stammabfluß (Halmablauf), der diesen Teil des Niederschlags schnell in den Boden einbringen kann (siehe Kapitel Stammabfluß). Das oben erwähnte Abtropfen ist ein weiteres günstiges Moment für die Infiltration, da diese weniger energiereichen Tropfen den Boden nicht so stark komprimieren und verschlämmen.

Die Infiltrationskurve bei der Nutzung „Kartoffel“ ist den Brachewerten weit ähnlicher, als der Infiltrationskurve bei Weizen. Sie liegt anfangs ebenfalls tiefer als die Bracheinfiltration. Viel später als bei Weizen, nämlich bei der geringen Beregnungsintensität erst bei ca. 25 Minuten, tritt eine Berührung bzw. Kreuzung mit der Brachekurve auf. Daraus kann gefolgert werden: Der Schutz vor der Splashwirkung, den die Kartoffelstauden gewähren, erreicht nicht das Ausmaß wie bei Weizen (siehe Werte des Durchregnens bei 0,66 mm/min = ca. 65% und bei 1,5 mm/min = ca. 67%). Es erfolgt daher eine Verschlämmung des Bodens weit früher und die Infiltrationskurve ist der Brachekurve stark angenähert. Der relativ geringe Anteil des Stammabflusses bei den Kartoffeln im Vergleich zu Weizen kann die Infiltrationsleistung auch nicht so stark fördern wie bei der Halmfrucht.

Im Vergleich zur Brache liegen die Infiltrationswerte für Wein für die Versuchsfläche Riedenthal-Nord immer etwas niedriger. Es kommt dabei aber nicht zum Schnitt der Infiltrationskurven, wie das bei Riedenthal-Süd unter Nutzung „Weizen“ der Fall war. Diese Aussage gilt sowohl für die schwache als auch für die starke Beregnungsintensität. Es ist auch derselbe Trend für beide getestete Hangneigungen von 10° und 14° festzustellen. Der Vergleich der Infiltrationskurven bei den Versuchen auf der Versuchsfläche Wagram für Brache und Wein zeigt, daß bei der schwachen Beregnungsintensität die Kurven wieder fast parallel verlaufen, während sich bei der Beregnungsintensität 1,5 mm/min die Infiltrationskurve Wein der Brachekurve ab 6 bis 7 Minuten Beregnung stark nähert – bis dorthin also steiler ist und danach etwas flacher wird als die Bracheinfiltration.

Bei der Versuchsfläche Wagram verhalten sich die Infiltrationskurven von Brache und Wein mit Mulchdecke je nach Beregnungsintensität sehr verschieden. Die Anfangswerte der Infiltration liegen auch hier bei Brache höher und selbst bei Weinbau ohne Mulchdecke ist die Infiltration anfangs noch höher. Die geringeren Infiltrationswerte werden durch die hohen Interzeptionswerte erklärlich, die bei Wein mit Mulchdecke auftreten. Die Infiltrationsintensität (Anstieg der Kurve) ist aber bedingt durch den Splash und dem reichlichen Stammabfluß (Halmabfluß), der bei der Mulchdecke am höchsten ist. Nach 6 bis 7 Minuten Beregnung (1,5 mm/min) flacht die Infiltrationssummenkurve bei Nutzung Wein schon ab (Kreuzung der Kurven), während bei Wein mit Mulchdecke fast die gleiche Steigung noch

beibehalten wird. Ab 7 Minuten Beregnung (1,5 mm/min) nimmt also die Infiltrationsmenge bei Weinbau mit Mulchdecke stärker zu, als bei Weinbau mit Brache.

Daraus kann gefolgert werden: Bei höherer Beregnungsintensität tritt der Schutz vor Verschlammung im schluffreichen Boden Wagram schon viel früher dominant in Erscheinung (Die Infiltrationskurve für Weinbau mit Mulchdecke steigt ab ca. 7 Minuten Beregnung über die Werte für Weinbau mit Brache in Zeilenmitte bzw. für das Brachefeld selbst an.) Es trifft dieselbe Erklärung wie bei Weizen zu, da die Art der Bodenbedeckung (Gräser, Luzerne etc.) sich ähnlich wie Weizen verhält (wenn sie auch keinen so dichten Bestand aufwies) und der Stammabfluß (Halmablauf) einen großen Anteil hat. Auch hier erkennt man die Abhängigkeit von der mechanischen Leistung des Regens.

Im Vergleich zu anderen Nutzungen liegt bei Wein-Hochkultur mit Brache in Zeilenmitte nur ein geringer Bodenbedeckungsgrad vor. Wenn auch der LAI bei Weinreben sehr hoch ist (sehr dichte Belaubung über der Grundfläche – siehe Interzeption), so ist doch mindestens zwei Drittel der Gesamtfläche des Weingartens hier unbedeckt und entspricht Bracheverhältnissen. Dies wirkt sich eben dahingehend aus, daß die Kurvenverläufe der Infiltration fast parallel zur Brache sind und nur um einen gewissen Teil erniedrigt sind. Dieser Summenanteil geht zu Lasten der Interzeption. Durch das Blätterdach wird aber nicht nur Wasser der Infiltration entzogen – die Interzeptionsverluste sind rechnerisch größer als die Infiltrationsdifferenz Brache–Wein – sondern auch ein gewisser Schutz vor Verschlammung erreicht, sodaß der Interzeptionsverlust mit ca. 50% auf die Infiltration durchschlägt. Eine Begünstigung der Infiltration durch stammabfließendes Wasser fällt bei Weinbau-Hochkultur ja weg, da die Prozentsätze so gering sind.

4.7. Erodibilität der Böden

Die Zusammenfassung aller Versuchsergebnisse bietet Tabelle 5. In der Figur 2 wurden die Abspülwerte für die drei Testgebiete, bezogen auf Brache, einander gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, daß bei einer Beregnung von 0,66 mm/min bis etwa 15 Minuten Dauer die Abspülung nur sehr schwach zunimmt. Erst dann kommt es zu einem progressiven Anstieg. Bei 1,5 mm/min Beregnung erfolgt diese Steigerung der Abspülung schon nach ca. 5 Minuten.

Tabelle 5: Gemessene und errechnete Werte für alle Versuche

	CASE-NO	ZEIT min	PRECIP mm	INTERCPT mm	DURCH mm	STAMM mm	INFILTR mm	ABFLUSS mm	SEDKONZ g/lit	SPILASPI g/m ²	ABTRAG g/m ²
Riedenthal-Wald 10°, Brache 0,66 mm/min	1	2.000	1.332	-999.000	1.332	-999.000	1.330	0	-999.000	76.000	-999.000
	2	5.000	3.330	-999.000	3.330	-999.000	3.330	0	-999.000	196.000	-999.000
	3	10.000	6.660	-999.000	6.660	-999.000	5.050	.800	59.500	432.000	47.600
	4	15.000	9.990	-999.000	9.990	-999.000	7.790	2.200	75.200	660.000	141.000
	5	20.000	13.320	-999.000	13.320	-999.000	9.120	4.200	69.300	862.000	286.300
	6	25.000	16.650	-999.000	16.650	-999.000	10.150	6.500	70.800	1062.000	447.900
Riedenthal-Wald 10°, Brache 1,5 mm/min	7	2.000	3.000	-999.000	3.000	-999.000	3.000	0	-999.000	264.000	-999.000
	8	5.000	7.500	-999.000	7.500	-999.000	6.100	1.400	98.300	699.000	137.620
	9	10.000	15.000	-999.000	15.000	-999.000	9.100	5.900	163.100	1422.000	725.770
	10	15.000	22.500	-999.000	22.500	-999.000	12.000	10.500	175.200	2122.000	1675.010
	11	20.000	30.000	-999.000	30.000	-999.000	14.600	15.400	168.700	2804.000	2343.615
	12	25.000	37.500	-999.000	37.500	-999.000	-999.000	-999.000	181.100	3477.000	-999.000
Riedenthal-Wald 14°, Brache 0,66 mm/min	13	2.000	1.332	-999.000	1.332	-999.000	1.330	0	-999.000	96.000	-999.000
	14	5.000	3.330	-999.000	3.330	-999.000	3.090	.300	90.200	282.000	15.060
	15	10.000	6.660	-999.000	6.660	-999.000	5.360	1.300	72.100	611.000	76.210
	16	15.000	9.990	-999.000	9.990	-999.000	7.290	2.700	80.900	952.000	189.090
	17	20.000	13.320	-999.000	13.320	-999.000	8.320	5.000	78.300	1241.000	305.690
	18	25.000	16.650	-999.000	16.650	-999.000	9.670	7.300	89.700	1472.000	551.990

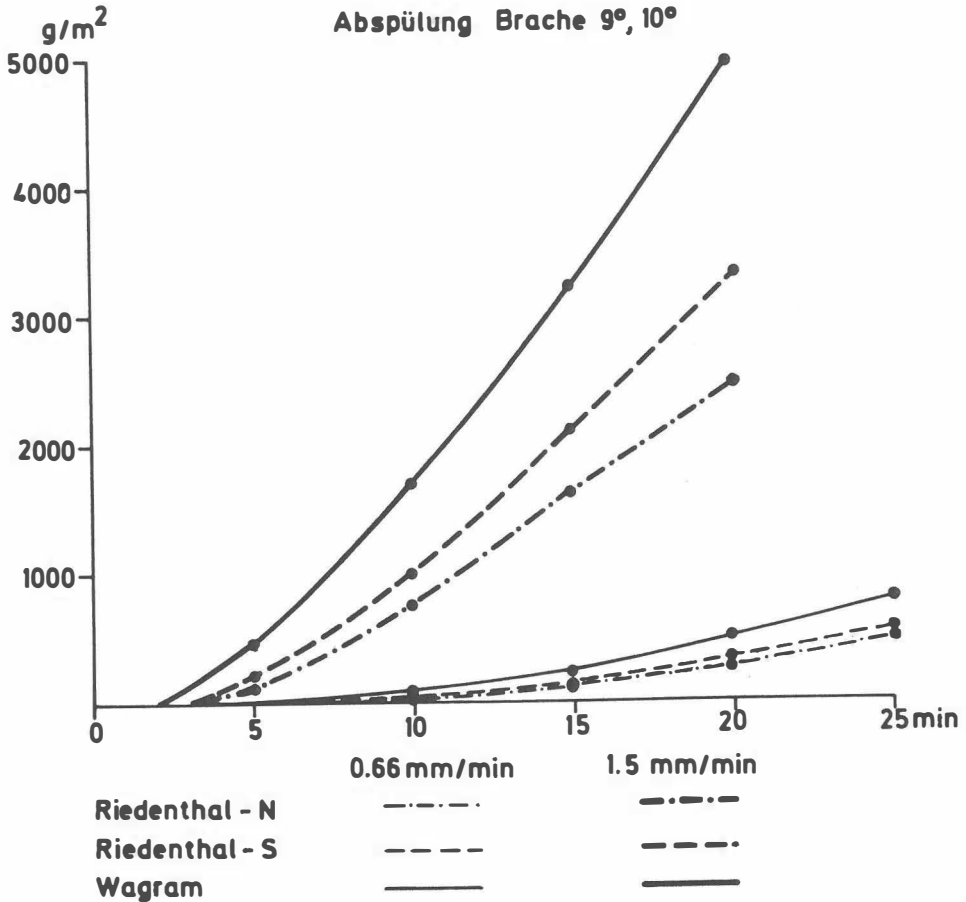
Precip:	Niederschlag	Abfluß:	Oberflächenabfluß
Intercept:	Interzeption	Sedkonz:	Sedimentkonzentration
Durch:	Durchregen	Splash:	Gesamtsplash
Stamm:	Stammabfluß	Abtrag:	Gesamtabtrag durch fließendes Wasser
Infiltr:	Infiltration	-999.000:	fehlender Wert

Tabelle 5: (Fortsetzung)

	CASR-NO	ZERIT min	MURCIP mm	INTECPT mm	DINCH mm	STAMP mm	INFLIT mm	ANPLERS mm	SPRUNKZ g/lit	REPLARI g/m ²	ARRAN g/m ²
Riedenthal-Nord	19	2.000	3.000	-999.000	3.000	-999.000	2.600	2.400	75.300	752.000	-999.000
14° ,Brache	20	5.000	7.500	-999.000	7.500	-999.000	5.100	2.400	102.700	930.000	178.000
	21	10.000	15.000	-999.000	15.000	-999.000	7.700	7.300	188.300	1876.000	890.950
1,5 mm/min	22	15.000	22.500	-999.000	22.500	-999.000	9.300	13.200	191.500	2970.000	2011.760
	23	20.000	30.000	-999.000	30.000	-999.000	10.500	19.500	195.400	3669.000	3230.075
	24	25.000	37.500	-999.000	37.500	-999.000	-999.000	-999.000	201.200	-999.000	-999.000
Riedenthal-Nord	25	2.000	1.332	-.260	1.060	-.010	1.070	0	-999.000	-999.000	-999.000
10° ,Wein	26	5.000	3.330	-.600	2.700	-.030	2.730	0	-999.000	-999.000	-999.000
	27	10.000	6.660	-1.030	5.370	-.060	5.330	3.300	44.500	-999.000	13.750
0,66 mm/min	28	15.000	9.990	-1.300	8.997	-.100	7.290	1.400	62.300	-999.000	72.090
	29	20.000	13.320	-1.560	11.630	-.130	8.360	3.400	69.700	-999.000	204.070
	30	25.000	16.650	-1.560	14.920	-.170	10.190	5.100	73.500	-999.000	325.810
Riedenthal-Nord	31	2.000	3.000	-.530	2.440	-.030	2.470	0	-999.000	-999.000	-999.000
10° ,Wein	32	5.000	7.500	-1.130	6.300	-.070	5.370	1.000	55.100	-999.000	55.100
	33	10.000	15.000	-1.560	13.280	-.160	8.640	4.800	87.100	-999.000	325.280
1,5 mm/min	34	15.000	22.500	-1.560	20.720	-.220	10.840	10.100	109.300	-999.000	845.740
	35	20.000	30.000	-1.560	28.140	-.300	12.040	16.400	125.000	-999.000	1589.785
Riedenthal-Nord	36	2.000	1.332	-.260	1.060	-.010	1.070	0	-999.000	-999.000	-999.000
14° ,Wein	37	5.000	3.330	-.600	2.700	-.030	2.730	0	-999.000	-999.000	-999.000
	38	10.000	6.660	-1.030	5.370	-.060	4.990	7.000	69.400	-999.000	48.980
0,66 mm/min	39	15.000	9.990	-1.300	8.997	-.100	6.790	1.900	75.700	-999.000	135.640
	40	20.000	13.320	-1.560	11.630	-.130	7.960	3.800	73.100	-999.000	277.000
	41	25.000	16.650	-1.560	14.920	-.170	8.530	6.500	79.200	-999.000	482.605
Riedenthal-Nord	42	2.000	3.000	-.530	2.440	-.030	2.470	0	-999.000	-999.000	-999.000
14° ,Wein	43	5.000	7.500	-1.130	6.300	-.070	4.870	1.900	93.700	-999.000	140.950
	44	10.000	15.000	-1.560	13.280	-.160	7.240	6.200	157.500	-999.000	730.870
1,5 mm/min	45	15.000	22.500	-1.560	20.720	-.220	8.940	12.000	178.900	-999.000	1706.430
	46	20.000	30.000	-1.560	28.140	-.300	9.940	16.600	180.600	-999.000	2892.780
Riedenthal-Süd	47	2.000	1.332	-999.000	1.332	-999.000	1.330	0	-999.000	42.000	-999.000
9° ,Brache	48	5.000	3.330	-999.000	3.330	-999.000	3.330	0	-999.000	122.000	-999.000
	49	10.000	6.660	-999.000	6.660	-999.000	5.560	1.100	46.500	270.000	53.350
0,66 mm/min	50	15.000	9.990	-999.000	9.990	-999.000	7.470	2.900	56.300	371.000	186.710
	51	20.000	13.320	-999.000	13.320	-999.000	8.120	5.200	78.900	502.000	280.950
	52	25.000	16.650	-999.000	16.650	-999.000	8.790	7.900	72.700	615.000	516.750
Riedenthal-Süd	53	2.000	3.000	-999.000	3.000	-999.000	3.000	0	-999.000	141.000	-999.000
9° ,Brache	54	5.000	7.500	-999.000	7.500	-999.000	5.600	1.900	111.900	365.000	212.610
	55	10.000	15.000	-999.000	15.000	-999.000	7.900	7.100	182.300	753.000	977.530
1,5 mm/min	56	15.000	22.500	-999.000	22.500	-999.000	9.600	12.900	175.500	1077.000	2015.190
	57	20.000	30.000	-999.000	30.000	-999.000	10.100	19.900	169.200	1402.000	3218.400
	58	25.000	37.500	-999.000	37.500	-999.000	-999.000	-999.000	170.500	1780.000	-999.000
Riedenthal-Süd	59	2.000	1.332	-.500	1.400	-.430	1.830	0	-999.000	-999.000	-999.000
9° ,Kartoffel	60	5.000	3.330	-1.100	1.520	-.710	2.230	0	-999.000	-999.000	-999.000
	61	10.000	6.660	-2.000	3.600	-1.060	4.660	0	-999.000	-999.000	-999.000
0,66 mm/min	62	15.000	9.990	-2.800	5.730	-1.660	6.590	800	34.300	-999.000	27.440
	63	20.000	13.320	-3.100	8.210	-2.010	7.920	2.300	58.900	-999.000	97.040
	64	25.000	16.650	-3.100	10.560	-2.930	8.650	4.000	71.600	-999.000	299.665
Riedenthal-Süd	65	2.000	3.000	1.100	1.520	-.380	1.900	0	-999.000	-999.000	-999.000
9° ,Kartoffel	66	5.000	7.500	2.200	4.200	-1.100	4.500	800	61.000	-999.000	49.000
	67	10.000	15.000	3.300	9.430	-2.270	7.200	4.900	70.300	-999.000	260.110
1,5 mm/min	68	15.000	22.500	3.600	14.810	-4.090	9.500	9.400	113.600	-999.000	710.665
Riedenthal-Süd	69	2.000	1.332	-.400	1.200	-.510	1.930	0	-999.000	-999.000	-999.000
9° ,Weizen	70	5.000	3.330	-1.200	1.340	-.790	2.130	0	-999.000	-999.000	-999.000
	71	10.000	6.660	-1.500	2.920	-2.240	5.160	0	-999.000	-999.000	-999.000
0,66 mm/min	72	15.000	9.990	-1.800	4.830	-3.360	8.190	0	-999.000	-999.000	-999.000
	73	20.000	13.320	-1.900	6.950	-4.470	11.120	300	37.600	-999.000	11.280
	74	25.000	16.650	-2.000	8.720	-5.930	13.690	1.000	64.200	-999.000	46.910
Riedenthal-Süd	75	2.000	3.000	1.100	1.310	-.590	1.900	0	-999.000	-999.000	-999.000
9° ,Weizen	76	5.000	7.500	1.600	3.600	-2.300	5.900	0	-999.000	-999.000	-999.000
	77	10.000	15.000	2.000	7.950	-5.050	12.900	100	21.000	-999.000	2.100
1,5 mm/min	78	15.000	22.500	2.000	12.370	-6.130	19.500	1.000	68.400	-999.000	42.330
	79	20.000	30.000	2.000	16.200	-11.880	25.200	2.800	75.300	-999.000	171.660
	80	25.000	37.500	2.000	20.620	-14.880	29.900	5.600	92.600	-999.000	392.720
Wagram	81	2.000	1.332	-999.000	1.332	-999.000	1.330	0	-999.000	26.000	-999.000
10° ,Brache	82	5.000	3.330	-999.000	3.330	-999.000	3.130	200	41.300	72.000	8.260
	83	10.000	6.660	-999.000	6.660	-999.000	5.360	1.300	78.900	168.000	74.370
0,66 mm/min	84	15.000	9.990	-999.000	9.990	-999.000	6.990	3.000	98.700	247.000	287.570
	85	20.000	13.320	-999.000	13.320	-999.000	7.860	5.500	92.500	324.000	465.690
	86	25.000	16.650	-999.000	16.650	-999.000	8.250	8.400	93.200	402.000	734.995
Wagram	87	2.000	3.000	-999.000	3.000	-999.000	3.000	0.000	-999.000	90.000	-999.000
10° ,Brache	88	5.000	7.650	-999.000	7.650	-999.000	5.100	2.400	193.500	229.000	464.430
	89	10.000	15.000	-999.000	15.000	-999.000	7.300	7.700	248.200	464.000	1634.505
1,5 mm/min	90	15.000	22.500	-999.000	22.500	-999.000	8.900	13.600	299.100	610.000	3716.040
	91	20.000	30.000	-999.000	30.000	-999.000	9.900	20.100	257.600	892.000	4886.315
	92	25.000	37.500	-999.000	37.500	-999.000	-999.000	-999.000	261.400	1120.000	-999.000

Tabelle 5: (Fortsetzung)

	CASE-NR	ZRIT min	PRICIP mm	INTECPT mm	DURCH mm	STAMP mm	INFILT mm	ANFLUSS mm	ERODIERT g/lit	SPALASH g/m ²	ABTRAG g/m ²
	93	2.000	1.332	.260	1.060	.010	1.070	0	-999.000	-999.000	-999.000
Wagram	94	5.000	3.330	.600	2.700	.030	2.730	0	-999.000	-999.000	-999.000
10° ,Wein	95	10.000	6.660	1.030	5.570	.060	4.830	.400	63.400	-999.000	50.720
0,66 mm/min	96	15.000	9.990	1.300	8.590	.100	6.890	1.800	92.600	-999.000	128.720
	97	20.000	13.320	1.560	11.630	.130	7.660	4.100	70.300	-999.000	339.055
	98	25.000	16.650	1.560	14.920	.170	7.970	7.100	81.210	-999.000	606.805
	99	2.000	3.000	.530	2.440	.030	2.470	0	-999.000	-999.000	-999.000
Wagram	100	5.000	7.500	1.130	6.300	.070	5.070	1.300	135.300	-999.000	175.890
10° ,Wein	101	10.000	15.000	1.560	13.280	.150	7.040	6.400	230.900	-999.000	1109.700
1,5 mm/min	102	15.000	22.500	1.560	20.720	.220	8.540	12.400	241.700	-999.000	2527.500
	103	20.000	30.000	1.560	28.140	.300	9.640	18.800	299.200	-999.000	4066.300
	104	2.000	1.332	.720	.330	.280	.610	0	-999.000	-999.000	-999.000
Wagram	105	5.000	3.330	1.660	.940	.730	1.670	0	-999.000	-999.000	-999.000
9° ,Wein + Mulch	106	10.000	6.660	2.760	2.200	1.700	3.500	1.400	20.200	-999.000	8.090
	107	15.000	9.990	3.490	3.700	2.800	5.500	1.000	58.900	-999.000	31.810
0,66 mm/min	108	20.000	13.320	4.020	5.300	4.010	6.810	2.500	89.000	-999.000	138.235
	109	25.000	16.650	4.020	7.260	5.370	7.330	4.700	101.600	-999.000	341.295
	110	2.000	3.000	1.530	.840	.630	1.470	0	-999.000	-999.000	-999.000
Wagram	111	5.000	7.500	3.000	2.540	1.970	4.310	.200	48.300	-999.000	9.660
9° ,Wein + Mulch	112	10.000	15.000	4.020	6.290	4.690	8.600	2.200	149.200	-999.000	207.160
	113	15.000	22.500	4.020	10.720	7.760	11.640	6.100	169.800	-999.000	940.860
1,5 mm/min	114	20.000	30.000	4.020	15.160	10.120	13.870	12.100	190.500	-999.000	1789.655



Figur 2

Wie Tabelle 5 dokumentiert, hat der Löß der Versuchsfläche „Wagram“ immer die höchsten Abspülmengen. Seine Hauptkorngröße liegt im Schluffbereich. Seine Aggregatstabilität ist aber etwas besser als die der Sande von „Riedenthal-Nord“. Der Humusgehalt liegt auch in der Mitte der drei ausgewählten Versuchsflächen. Die Versuchsfläche „Riedenthal-Süd“ weist die zweithöchsten Abspülmengen auf. Diese liegen besonders bei schwacher Beregnungsintensität knapp über den Werten der Versuchsflächen „Riedenthal-Nord“ mit den vergleichsweise niedrigsten Abspülmengen. Die Korngrößen sind sehr gleichmäßig verteilt. Der Humusgehalt ist am höchsten. Die Sande der Versuchsfläche „Riedenthal-Nord“ haben, wie schon angeführt, die geringsten Abspülmengen. Sie haben einen sehr hohen Korngrößenmedianwert von $D_{50} = 163 \mu\text{m}$, also die Hauptkorngröße im Sandbereich. Der Humusgehalt und Tongehalt ist gegenüber den beiden anderen Testflächen am geringsten, was sich in der Aggregatstabilität negativ auswirkt (während der hohe Sandgehalt zu hohen Infiltrationswerten führt). Nimmt man die Korngröße allein als Prädiktor, kommt man zu den aus der Literatur beschriebenen Aussagen (vgl. oben). Die anderen Kennzahlen, alleine verwendet, bieten keine sichere Aussage. Auch aufgrund meiner Versuche erweist sich der Korngrößenparameter als der wichtigste Faktor der ersten Unterscheidungsebene für die Erklärung der Erodibilität des Bodens, sei es der Schluffgehalt oder der Medianwert D_{50} . So läßt sich sagen: Höhere D_{50} -Werte führen zu geringerer Bodenerosion. Haben zwei Sedimente ungefähr den gleichen Medianwert der Korngrößen, so wird in der zweiten Unterscheidungsebene der Humusgehalt bzw. schon die durch ihn und den Tongehalt bedingte komplexere Kennzahl „Aggregatstabilität“ wirksam. Schließlich: Höhere Humusgehalte oder bessere Aggregatstabilität führen zu geringerer Bodenerosion.

LITERATURVERZEICHNIS

- BARFIELD, B. (1973): Surface water storage capacity of selected crop leaves under irrigation sprays. *Agric. Met.* 12, S. 105–111.
- BAUER, B. (1983): Abspülung und Splash, zwei wichtige Prozesse der Bodenerosion. *Geographischer Jahresbericht aus Österreich. Institut für Geographie der Universität Wien.*
- BECHTLE, W. (1974): Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Nährstoffauswaschung in steilen Hanglagen-Erosionsversuch Eßlingen-Mettingen. *Wasser u. Boden*, 26, 1–4.
- BENNET, H. (1939): *Soil conservation*. New York, 1939, 993 S.
- BRUCKMAYER, S. (1965): Synoptische-klimatologische Untersuchung der Starkregen in Wien und NÖ, Diss. Univ. Wien.
- CHOW, VEN TE (1964): *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- DUBBER, H. (1967): Untersuchungen über den Bodenabtrag auf Tonmergel u. Kalkstein der Schwäbischen Alb. *Zschr. f. Kultur u. Flurber.*, 8, S. 85–101.
- DE PLOEY, J. u. SAVAT, J. (1968): Contribution à l'étude de l'érosion par le splash. *Zeitschr. f. Geomorphologie*, 2, S. 174–193.
- DE PLOEY, J. (1969): L'érosion pluviale: Experience à l'aide de sables traceurs et bilans morphogéniques. *Acta Geographica Lovaniensia*, 7, 1–28.
- DE PLOEY, J. (1971): Liquefaction and rainwash. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 15, S. 491–496.
- DE PLOEY, J. (1980): Crusting and time-dependent rainwash mechanisms on loamy soils. *Proc. Conservation 80 Int. Conf. Soil Conservation*, S. 139–152.
- DE PLOEY, J. (1981): Some laboratory techniques for investigating land erosion. Erosion and sediment Transport measurements. *Proc. of Florence Symp. IAHS-Publ.* 133.
- DE PLOEY, J. and MÜCHER, H. (1981): A consistency index and rainwash mechanisms on Belgian loamy soils. *Earth Surface Proc.* 6, S. 319–330.
- DE PLOEY, J. (1982): A stemflow equation for grasses and similar vegetation. *Catena*, 9, S. 139–152.
- FLEGEL, R. (1962): Die Bodenerosion durch Wasser im Gebiet der DDR. *Int. Zschr. d. Landw.*, 6, 1–4.
- FLEGEL, R. (1970): Ein mathematisches Modell für die Optimierung von hydrotechnischen Schutzmaßnahmen gegen Wassererosion. *Zschr. f. Landeskultur*, 11, S. 97–114.
- GIL, E. u. SLUPIK, J. (1974): The influence of the plant cover and land use on the surface runoff and washdown during heavy rain. *Stud. Geom. Carp.* – *Balc.* VI, S. 181–190.
- HILLEL, C. (1971): *Soil and Water, Physical Principles and Processes*. Academic Press, London, 288 S.
- HOYNINGEN-HUENE, J. (1981): Die Interception des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. *Arbeitsbericht Deutscher Verband f. Wasserwirtschaft und Kulturbau*, Braunschweig. 65 S.
- JUNG, L. (1956): Untersuchungen über den Einfluß der Bodenerosion auf die Erträge in hängigem Gelände. *Schriftenreihe f. Flurber.*, 9.
- KAYSER, K. (1952): Soil Erosion (Bodenverheerung) und Normalabtragung. *Dt. Geogr. Tag. Tagungsber.*, 28, S. 189–197.
- LOUIS, H. (1961): *Allgemeine Geomorphologie*, De Gruyter, 355 S.
- MÜLLER, W. (1971): Agrarmeteorologische Untersuchungen des Wärmehaushaltes im Bereich landwirtschaftlicher Kulturen. *Arch. Met. Geoph. Biokl.*, 19, S. 199–224.

- MÜLLER, W. u. RUCKENBAUER, P. (1973): Influence of meteorological parameters on dry matter production of wheat in the pannonian area of Austria. WMO-Smp. „Agrometeorology of Wheat crop“, Braunschweig.
- RICHTER, G. (1965): Bodenerosion, Schäden und gefährdete Gebiete in der BRD. Forsch. z. dt. Landeskd., Bd. 152, 592 S.
- RICHTER, G. (1974): Zur Erfassung und Messung des Prozeßgefüges der Bodenabspülung im Kulturland Mitteleuropas. Abh. d. Akad. d. Wiss., Göttingen, III, 29, S. 372–385.
- RICHTER, G. (1975): Der Aufbau der Forschungsstelle Bodenerosion in Weinberglagen. Forschungsstelle Bodenerosion d. Univ. Trier, Mertersdorf, H. 1, 17 S.
- RICHTER, G. u. SPERLING, W. (1976) ed. Bodenerosion in Mitteleuropa. Wiss. Buchgemeinschaft, Darmstadt, 558 S.
- SCHULTZE, J. (1952): Die Bodenerosion in Thüringen. Erg. Heft 247, Petermanns Geogr. Mitt., 286 S.
- WEIGT, E. (1941): Bodenzerstörung – ein weltweites Phänomen. Zschr. f. Raumforschung, 6/7, S. 245–249.
- WISHMEIER, W. (1959): A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23, 246–249.
- WISHMEIER, W. u. SMITH, D. (1965): Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agric. Handbook Nr. 282., S. 1–45.
- WISHMEIER, W. u. SMITH, D. (1978): Predicting rainfall-erosion losses, USDA, handbook Nr. 537, 58 S.
- WOLLNY, E. (1895): Untersuchungen über das Verhalten der atmosphärischen Niederschläge zur Pflanze und zum Boden. Agrikulturphysik 18, S. 180–204.

Summary

Soil erosion by water (including experiments with rain simulation) in lowland-regions in Lower Austria

Soil erosion is a process of land wasting influencing the productivity of cultivated soils depending on soil type, precipitation characteristics, slope and land use. Soil erosion was defined as „vastly accelerated process of soil removal brought about by human interference with the normal equilibrium between soil building and soil removal“ (Bennet, 1939).

Factors of soil erosion that are discussed in the first part are: Precipitation, especially the amount reaching the soil i. e. minus interception and stemflow which are also discussed. Soil characteristics are the second important group of factors e. g. texture, structure, organic matter, infiltration etc.

Own experiments to measure soil erosion by rain simulation were set up in Lower Austria on three different soils with four different vegetation covers; two precipitation intensities were used produced by a rainfall simulator that was adjusted for that purpose. Raindrop spectrum was measured, splash amount and composition as well as runoff and the composition of sediment discharge in 2, 5, 10, 15, 20, 25 minute intervals. All measured as well as derived values of interception, dripping through vegetation cover, stemflow infiltration, runoff, sediment concentration, splash amount sediment discharge are presented in a table at the end of the paper.

Table 1: Dripping through potatoes

Table 2: Dripping through wheat

Table 3: Dripping through grape (trellis)

Table 4: Infiltration rate, bare soil

Fig. 1: Soil texture (clay, silt, sand)

Fig. 2: sediment discharge, bare soil