

Johannes BOTSCHEK, Jörg GRUNERT und Armin SKOWRONEK, Bonn

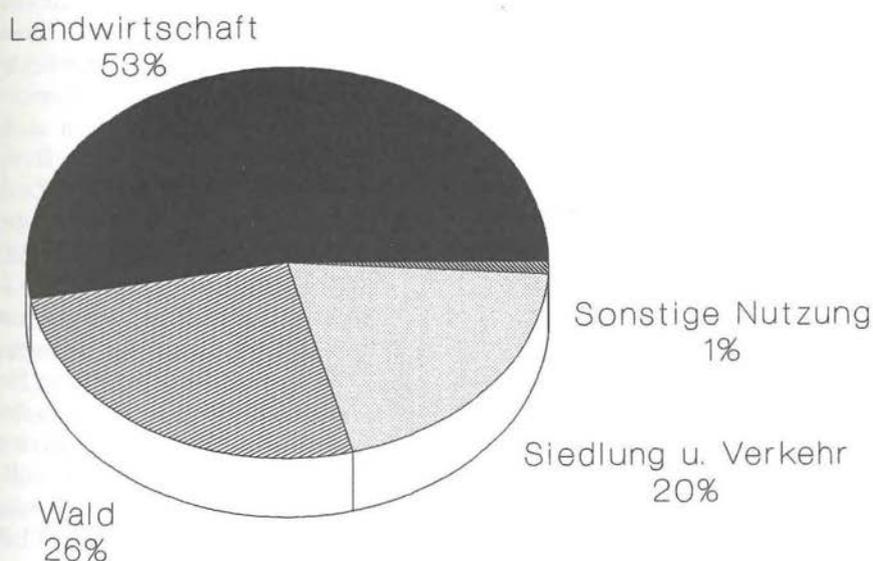
## Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen

— Voraussetzungen, Prozesse und Schutzmaßnahmen —

### 1. Einleitung

Nordrhein-Westfalen ist eines der am dichtesten besiedelten Industrieländer. Auf 34 000 km<sup>2</sup> leben etwa 17 Millionen Menschen. Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen liegt über dem Bundesdurchschnitt und nimmt Jahr für Jahr vor allem auf Kosten landwirtschaftlicher Flächen zu (DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1989). Dennoch nutzt die Landwirtschaft mehr als die Hälfte der Landesfläche (vgl. Abb. 1) mit meist hohem Aufwand an Bodenbearbeitung, Düngemitteln und

Abb. 1: Flächennutzung in Nordrhein-Westfalen 1987 (aus DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1989)



Bioziden. Enge Fruchtfolgen mit steigendem Anteil erosionsfördernder Kulturpflanzen, maschinenfreundliche, aber ebenfalls erosionsbegünstigende Schlaggrößen und Bodenverdichtungen durch Befahren und Bearbeiten zu feuchter Böden führen — wie in anderen Bundesländern auch — zu Bodenabtrag und zur Belastung anderer Ökosysteme (HAIDER 1991). Besonders in den dichtbesiedelten Regionen Nordrhein-Westfalens rückt die Bedeutung dieser sogenannten „off-site-Schäden“ immer mehr in den Vordergrund und macht die Vermeidung von Bodenerosion zu einer vorrangigen Aufgabe des Bodenschutzes.

Voraussetzung für die Entwicklung geeigneter Maßnahmen ist ein Überblick über die regionalen Verhältnisse Nordrhein-Westfalens, der in diesem Aufsatz vermittelt werden soll.

## 2. Stand der Forschung

Erste Untersuchungen zur Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen konnten sich vor allem auf frühere Arbeiten von KURON (1936; 1943) stützen. Sie sollten den Umfang des Bodenabtrages in den verschiedenen geologischen Landschaftseinheiten von Nordrheinland feststellen (WANDEL, mit Beiträgen von MÜCKENHAUSEN 1950). Zunächst fehlten nicht nur ein allgemeiner Überblick über erosionsbetroffene Gebiete und über die Schwere der Schäden, sondern auch geeignete Verfahren zur Erfassung dieser Sachverhalte. Immerhin legte MÜCKENHAUSEN schon 1952 eine aus der „Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000“ abgeleitete Auswertungskarte „Bodenerosionsgefahr durch Wasser in Nordrhein-Westfalen“ vor. Für Westdeutschland lieferte GROSSE (1951; 1955) erstmals detaillierte Unterlagen über die durch Wassererosion verursachten Schäden auf den Flächen von 20 Meßtischblättern — sieben davon in Nordrhein-Westfalen. Der Vergleich der Mächtigkeit der Oberböden ermöglichte eine Kartierung der bis zu diesem Zeitpunkt erfolgten Bodenerosion im Maßstab 1:100 000 und eine relative Klassifizierung der Schädigung in sechs Stufen. Demgegenüber kartierte HEMPEL (1963) nach geomorphologischen Gesichtspunkten und veröffentlichte neben sechs anderen auch drei nordrhein-westfälische Meßtischblätter, in denen die Schäden auf der Basis sichtbarer Abspülungsformen in vier Intensitätsstufen dargestellt wurden. Zwei Karten zur „Bodenerosion in Nordwestdeutschland 1:500 000“ skizzieren die Einstufung der Erosionsgefährdung in den nördlichen Bundesländern im Zusammenhang. Schon im Jahr 1951 erschien die Karte „Raumanalyse zur Windschutzplanung 1:1 000 000“ (DER MINISTERPRÄSIDENT 1951). Sie gliedert die Landesfläche in vier Stufen der „Windempfindlichkeit“, die aus der Nutzung, den Boden- und Wasserverhältnissen abgeleitet werden. Erste „Richtlinien für Windschutz“ (KUHLEWIND et al. 1955) stützten sich auf Untersuchungen des vom Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten NRW eingerichteten Windmeßzuges und parallele Forschungen im Windkanal. Die Richtlinien sollten Praktikern und Planern agrarmeteorologische und landwirtschaftliche Grundlagen für die Anlage von Windschutzpflanzungen vermitteln. RICHTER

(1965) gab eine Übersicht sowohl über die Schäden als auch über die gefährdeten Gebiete der Bundesrepublik Deutschland und ging in diesem Rahmen unter anderem auf die mittlere Bodenerosionsanfälligkeit der einzelnen Bundesländer ein.

Aufgrund des hohen technischen Aufwandes konzentrierten sich Untersuchungen zur Quantifizierung der Bodenerosion auf einzelne Standorte (KURON et al. 1956; JUNG u. BRECHTEL 1980) und auf die Bedeutung bestimmter Einflußgrößen, etwa die Vegetation, die Bodenfeuchte und den Niederschlag. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse war auch die Abschätzung der Belastung von Gewässern mit Düngemitteln durch die Bodenerosion möglich (PREUSS 1977; OTTO 1978). Arbeiten mit dieser Zielsetzung wurden in Nordrhein-Westfalen von BERNHARDT (1976), MÜLLER (1984) und SCHULTE-WÜLWERLEIDIG (1985) durchgeführt. Die Kontamination von Oberflächengewässern mit Pflanzenschutzmitteln durch Bodenerosion wurde im Einzugsgebiet der Talsperre Haltern im Münsterland von LITZ et al. (1989) untersucht.

Eine Reihe von Arbeiten befaßte sich mit der US-amerikanischen Bodenabtragsgleichung „Universal Soil Loss Equation“ bzw. Teilen dieser Gleichung und deren Anwendung auf nordrhein-westfälische Verhältnisse (BOTSCHEK 1991; ODINIUS u. ERDMANN 1991; SAUERBORN u. ERDMANN 1993), während ERDMANN u. HARDENBICKER (1989) und ERDMANN et al. (1990) die Abschätzung der Bodenerosionsgefährdung mit Hilfe der Geomorphologischen Detailkartierung (GMK 25) vorstellten. Bei WOLFGARTEN u. FRANKEN (1988), WOLFGARTEN (1990), HEYLAND u. SAUSEN (1991) sowie EIKEL (1991) standen acker- und pflanzenbauliche bzw. landtechnische Maßnahmen zur Minderung der Bodenerosion im Vordergrund. Meist wurde für diese experimentellen Arbeiten der Bonner Regensimulator (KROMER u. VÖHRINGER 1988) eingesetzt. Auf die Regensimulation griffen auch POTRATZ et al. (1991) für ihre Untersuchungen zur Dynamik der Teilprozesse der Bodenerosion zurück.

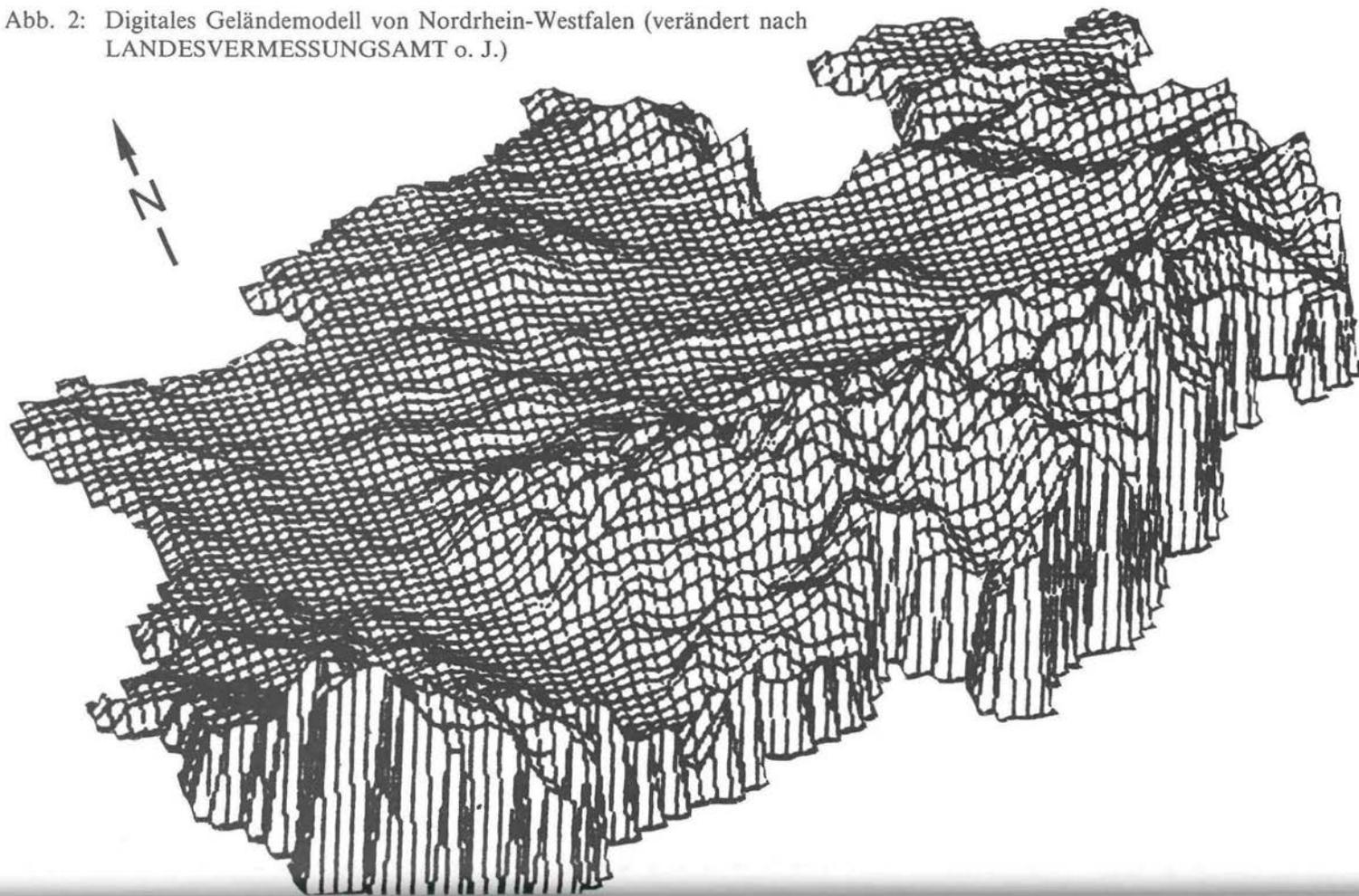
### 3. Voraussetzungen der Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen

#### 3.1 Relief und Bodennutzung

Das digitale Geländemodell von Nordrhein-Westfalen (vgl. Abb. 2) gibt einen Eindruck von der geomorphologischen Differenzierung des Landes, gleichzeitig werden Gebiete besonders hervorgehoben, in denen eine hohe Reliefenergie den Oberflächenabfluß und damit die Bodenerosion begünstigt.

Die Höhenzüge des stark gegliederten Suederberglandes kennzeichnen den Südosten. Sie erreichen im Rothaargebirge mittlere Höhen zwischen 600 und 800 m und auf dem Langenberg 843 m über NN. Die intensive Zerschneidung des Suederberglandes durch die Flußsysteme von Lenne, Ruhr, Möhne, Wupper, Sieg, Eder und Lahn schafft mittlere Hangneigungen zwischen 6 und 12° (RICHTER 1965, 378—418), in einigen Gebieten sogar mehr. Nur selten wird

Abb. 2: Digitales Geländemodell von Nordrhein-Westfalen (verändert nach LANDESVERMESSUNGSAMT o. J.)



auf diesen Hängen Ackerbau betrieben wie etwa im Gebiet um Neunkirchen (Rhein-Sieg-Kreis) oder auf der Briloner (Hochsauerlandkreis) und der Warsteiner Hochfläche (Kreis Soest), wo es verhältnismäßig fruchtbare Böden gibt. Ein Auszug aus der „Bodennutzungshaupterhebung“ Nordrhein-Westfalens (vgl. Tab. 1) listet die Betriebsflächen der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe ausgewählter Verwaltungsbezirke nach Bodennutzungsgruppen auf (LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK 1992, 280 f.). Die Verwaltungsbezirke wurden den Naturräumen des Landes zugeordnet, so daß eine zusammenfassende Darstellung erleichtert wird. Im Suederbergland nimmt die Ackernutzung in Solingen und im Ennepe-Ruhr-Kreis aufgrund der nach Westen und Nordwesten zunehmenden Lößverbreitung und Lößmächtigkeit immerhin über 20 Prozent der Betriebsfläche ein, im Kreis Mettmann steigt der Anteil sogar auf 53 Prozent. In der Regel überwiegt jedoch im Suederbergland bei weitem die erosionshemmende Nutzung Wald und Grünland.

Im Norden schließt sich das Weserbergland mit langgestreckten Bergzügen, Hochflächen und Beckenlandschaften an. Das Eggegebirge erreicht bis 465 m über NN und bildet die geomorphologisch markanteste Struktur des Oberen Weserberglandes mit mittleren Hangneigungen bis über 12° im Kammgebiet und auf dem Ostabfall, die ausschließlich forstlich genutzt werden. Die Westabdachung ist mit 2 bis 6° weniger steil und erlaubt auch die ackerbauliche Nutzung. Ähnlich sind die Relief- und Nutzungsverhältnisse im Teutoburger Wald, dessen Höhenzug den Kamm des Eggegebirges nach Nordwesten ins Untere Weserbergland fortsetzt. Die im Kreis Höxter liegende Warburger Börde ist auf der Hangneigungskarte von RICHTER (1965, Karte 1) mit einer mittleren Hangneigung von meist 2 bis 6° und darunter ausgewiesen. Auch die fruchtbaren Böden aus Löß bieten günstige Bedingungen für Ackernutzung, die daher in dieser Landschaft überwiegt. Ein großer Teil des Kreises wird jedoch vom Oberwälder Land eingenommen, einer intensiv zerschnittenen Hochfläche mit Hangneigungen zwischen 6 und 12° oder darüber. Wo es die Bodenverhältnisse zulassen, wird auch hier Ackerbau betrieben, oft ist aber lediglich die Nutzung als Wald und Grünland wirtschaftlich. Die Bodennutzungshaupterhebung verzeichnet 50 Prozent der Flächen des gesamten Kreisgebietes als Ackerland (vgl. Tab. 1). Etwa das gleiche Nutzungsmuster wird für den Kreis Lippe angegeben, der geomorphologisch noch heterogener aufgebaut ist. Bergzüge, Becken und Hügellandschaften wechseln sich ab und führen zu mittleren Hangneigungen zwischen 6 und 12°, im Pyrmonter Bergland auch darüber; in den Senkenbereichen — etwa im Pyrmonter Talkessel — sinken sie dagegen unter 2°. Die Paderborner Hochfläche westlich des Eggegebirges fällt zwar sanft nach Westen ab, ist aber wie die anderen Hochflächen des Weserberglandes intensiv zertalt, so daß neben den sehr häufigen mittleren Hangneigungen zwischen 6 und 12° auch stärkere Gefälle verbreitet sind. Das Wiehengebirge bildet den Nordrand des Unteren Weserberglandes und wird aufgrund seiner Steilheit im nordrhein-westfälischen Teil vorwiegend forstlich genutzt. Die noch relativ steile, lößbedeckte Nordabdachung zum Mindener Flachland wird allerdings beackert. Auch die Ravensberger Mulde südlich des Wiehengebirges bietet mit ihren Böden aus Löß günstige Voraussetzungen für eine intensive ackerbauliche Nutzung, die hier im Kreis Herford 75 Prozent der land- und forstwirtschaftlichen Betriebsfläche einnimmt.

Tab. 1: Bodennutzung in land- und forstwirtschaftlichen Betrieben Nordrhein-Westfalens

Kreis oder kreisfreie Stadt	insgesamt	Betriebsfläche in ha ( ) = % der gesamten Betriebsfläche			
		landwirtschaftlich zusammen	Ackerland	Dauergrünland	Waldflächen, Forsten, Holzungen
<b>Dümmer Geestniederung</b>					
Kreis Minden-Lübbecke	86 334	72 735	53 998 (63)	18 309 (21)	10 212 (12)
<b>Eifel und Hohes Venn</b>					
Aachen	8 484	5 807	2 056 (24)	3 744 (44)	2 482 (29)
Kreis Aachen	33 115	17 786	8 138 (25)	9 602 (29)	14 728 (45)
Kreis Düren	73 080	51 621	44 976 (62)	6 468 (9)	19 714 (27)
Kreis Euskirchen	92 339	51 263	28 896 (31)	22 177 (24)	38 800 (42)
<b>Niederrheinische Bucht</b>					
Erftkreis	46 215	35 971	34 942 (76)	781 (2)	8 511 (18)
Köln	11 403	7 891	7 363 (65)	460 (4)	3 294 (29)
<b>Niederrheinisches Tiefland</b>					
Krefeld	5 242	4 237	3 528 (67)	653 (13)	835 (16)
Kreis Kleve	91 396	77 014	50 056 (55)	26 442 (29)	11 692 (13)
Kreis Viersen	36 989	30 100	24 866 (67)	4 736 (13)	5 685 (15)

### Suederbergland

---

Ennepe-Ruhr-Kreis	23 154	12 996	5 057 (22)	7 786 (33)	8 977 (39)
Hochsauerlandkreis	165 190	56 969	19 517 (12)	35 729 (21)	104 261 (63)
Kreis Mettmann	21 661	15 404	11 538 (53)	3 677 (17)	4 899 (23)
Kreis Olpe	58 175	16 675	2 716 ( 5)	13 312 (23)	39 806 (68)
Kreis Siegen-Wittgenstein	87 224	16 533	2 960 ( 3)	13 414 (15)	67 018 (77)
Märkischer Kreis	66 216	28 177	10 301 (16)	17 603 (27)	35 579 (54)
Oberbergischer Kreis	61 432	31 881	2 916 ( 5)	28 659 (47)	27 374 (45)
Remscheid	4 093	1 698	529 (13)	1 148 (28)	2 199 (54)
Rheinisch-Bergischer Kreis	26 665	13 414	2 527 (10)	10 700 (40)	12 371 (46)
Solingen	3 221	1 655	713 (22)	925 (29)	1 464 (45)
Wuppertal	6 771	2 801	972 (14)	1 778 (26)	3 272 (48)

---

### Weserbergland

---

Kreis Herford	28 995	25 031	21 477 (74)	3 328 (12)	2 420 ( 8)
Kreis Höxter	103 838	68 570	51 837 (50)	16 472 (16)	32 914 (32)
Kreis Lippe	100 240	57 835	46 963 (50)	10 495 (11)	38 510 (38)
Kreis Paderborn	97 365	65 255	47 715 (49)	17 256 (18)	29 525 (30)

---

### Westfälische Tieflandsbucht

---

Kreis Coesfeld	93 452	73 255	58 885 (63)	13 899 (15)	16 597 (18)
Kreis Unna	32 493	28 087	23 006 (71)	4 932 (15)	3 490 (11)
Kreis Steinfurt	140 585	113 347	83 189 (59)	29 593 (21)	19 866 (14)
Kreis Warendorf	107 900	92 095	74 341 (69)	17 368 (16)	12 019 (11)

---

Zwar sind die mittleren Hangneigungen dieses welligen Hügellandes meist geringer als  $2^\circ$ , an den Flanken der Hügel erreichen sie jedoch in der Regel 6 bis  $8^\circ$  und mehr.

Auch die Höhenzüge der Eifel und des Hohen Venns im Südwesten des Landes treten im digitalen Geländemodell deutlich hervor. Mittlere Hangneigungen zwischen 6 und  $12^\circ$  sind verbreitet, können aber  $12^\circ$  auch überschreiten, wie dies in der Rureifel (Kreis Aachen) teilweise der Fall ist. Auf den Eifelhochflächen und im Bereich ihrer nordöstlichen Abdachung ist das Gefälle meist geringer und liegt zwischen 2 und  $6^\circ$  (RICHTER 1965, 410—414). Wie im Suederbergland steht die Nutzung als Forst und als Grünland, die zusammen über 70 Prozent einnehmen, im Vordergrund. Sie wird auch in der Bodennutzungshaupterhebung widergespiegelt (vgl. Tab. 1): Die Kreise Düren und Euskirchen umfassen bereits Teile der Jülicher bzw. der Zülpicher Börde, so daß der ackerbaulich genutzte Anteil land- und forstwirtschaftlicher Betriebsflächen deutlich höher liegt. Gleiches gilt auch für die waldarmen Betriebsflächen im Stadtgebiet von Aachen, wo das Grünland die dominierende Rolle spielt.

Die Niederrheinische Bucht im Südwesten des Bundeslandes, der in das Land hineinragende Ausläufer des Niederrheinischen Tieflandes im Westen, die Westfälische Tieflandsbucht im Norden und ein kleiner Abschnitt der Dümmer Geestniederung im Nordosten werden im digitalen Höhenmodell mehr oder weniger eben dargestellt. Auch RICHTER (1965, Karte 1) kennzeichnet diese Regionen in seiner Karte „Die mittlere Hangneigung“ als gering geneigte Flächen, die lediglich punktuell mehr als  $2^\circ$  mittlere Hangneigung aufweisen. Abgesehen davon, daß diese Darstellung im Maßstab 1:1 000 000 die tatsächlichen Gegebenheiten stark generalisiert, reichen unter Umständen schon geringe Hangneigungen ( $< 2$  Prozent  $\triangleq < 1^\circ 9'$ ) aus, um Bodenabtrag durch Wasser zu ermöglichen (HAUSER u. HILER 1975; STEIN et al. 1986). Auch die im digitalen Geländemodell (vgl. Abb. 2) eben dargestellten Flächen Nordrhein-Westfalens weisen häufig geringe Neigungen auf. Da sie überwiegend ackerbaulich (vgl. Tab. 1) und damit in der Regel erosionsbegünstigend genutzt werden, besteht auch für diese Gebiete unter Umständen Erosionsgefahr.

Neben die Gefährdung durch Wassererosion tritt auf den Böden der flachen und weiträumigen Tiefländer Nordrhein-Westfalens die Winderosionsgefahr. Sie sind den vorherrschend aus südwestlicher Richtung wehenden Winden (DEUTSCHER WETTERDIENST 1989, 41) stärker ausgesetzt als die Böden der Mittelgebirge, wo orographische Verhältnisse und engräumigere Nutzung die Windgeschwindigkeit in Bodennähe herabsetzen. Betroffen sind vor allem die leichten, sandigen Böden, die in der Westfälischen Tieflandsbucht weite Gebiete bedecken, aber auch erhebliche Flächen im Niederrheinischen Tiefland einnehmen. Die Bodennutzungshaupterhebung ergab für die Kreise Borken, Coesfeld, Steinfurt und Gütersloh, in denen sandige Böden große Bedeutung haben, Ackerlandanteile zwischen 54 und 65 Prozent der land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen, im Kreis Recklinghausen werden immerhin noch 52 Prozent der Flächen ackerbaulich genutzt. Damit ist der Anteil der auswehungsbegünstigenden Nutzungsform in der Westfälischen Tieflandsbucht relativ hoch.

### 3.2 Bodenarten

Die Korngrößenzusammensetzung ist der ausschlaggebende Parameter für die Erodierbarkeit der Böden (MEYER u. HARMON 1984; RÖMKENS 1985). So wird schluffreichen Böden allgemein eine hohe Erosionsanfälligkeit bescheinigt (VOGL u. BECHER 1985; AUERSWALD u. SCHMIDT 1986), während ton- oder sandreiche Böden als resistenter gelten. Die Böden in Nordrhein-Westfalen bieten ein weites Spektrum verschiedenster Bodenarten, deren Verteilung die „Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000“ (MÜCKENHAUSEN u. WORTMANN 1953) darstellt.

Die Mittelgebirgslandschaft des Suederberglandes wird weiträumig von grusig-steinigen, oft schluffigen Lehmen, den Verwitterungsprodukten der anstehenden Ton-, Schluff- und Sandsteine, bedeckt. Auch Kalke und Mergel bilden die Ausgangsmaterialien für schwere, zum Teil tonige Lehme vor allem im Rothaargebirge (Kreis Siegen-Wittgenstein) und im Sauerland (Märkischer Kreis, Hochsauerlandkreis). Am West- und am Nordrand wird das Suederbergland von geringmächtigen Lößlehmedecken gesäumt, so daß hier auf den Flächen der Bergischen Treppe und des Niederbergischen Hügellandes (Rheinisch-Bergischer Kreis, Wuppertal, Kreis Mettmann) und am Übergang zu den Hellwegbörden im Bereich des Haarstranges (Kreis Soest) schluffreiche Böden vorkommen. Löß als Ausgangsmaterial der Böden ist im übrigen Suederbergland nur auf wenige Flächen begrenzt.

So inhomogen wie die Oberflächengestaltung und das geologische Ausgangssubstrat ist auch die Verteilung der Bodenarten im Weserbergland. Großflächig sind im Oberen Weserbergland steinige bis tonige Lehme verbreitet, die durch die steinigen bis lehmigen Sande aus Unterkreide-Sandsteinen des Eggegebirges unterbrochen werden. Die Böden der Warburger Börde und teilweise auch des Oberwälder Landes im Kreis Höxter sowie erhebliche Anteile des Pyrmonter und des Lipper Berglandes (Kreise Höxter und Lippe) sind von Löß geprägt, so daß hier schluffige Lehme bzw. lehmige Schluffe die Oberflächen bilden. Löß ist im Unteren Weserbergland das dominierende Ausgangsmaterial für die Bodenbildung und von entsprechender Bedeutung für die Bodenarten dieser Landschaft, die von den Höhenzügen des Teutoburger Waldes und des Wichengebirges mit steinig bis tonig-lehmigen Bodenarten begrenzt wird.

Das Bodenartenmuster der Eifel wird dagegen von grusig-steinigen Lehmen aus Ton-, Schluff- und Sandsteinen (Kreise Düren und Euskirchen) und schluffig-tonigen bis tonigen Lehmböden aus Mergeln und Kalksteinen dominiert. Schluffig-tonige Böden sind auch auf den schon im Tertiär verwitterten tonreichen Gesteinen anzutreffen (Kreis Euskirchen). Sandsteine und grobe Konglomerate der Buntsandsteinformation bilden das Ausgangsmaterial für steinige bis lehmige Sandböden, die in der Rur-Eifel verbreitet sind. In der Eifel spielt Lößbedeckung kaum eine Rolle.

Umso wichtiger wird sie in der Zülpicher und der Jülicher Börde in der Niederrheinischen Bucht, der angrenzenden Ville und der Kölner Bucht (Kreise Euskirchen und Düren, Erftkreis, Rhein-Sieg-Kreis) und den Hellwegbörden der Westfälischen Tieflandsbucht (Kreise Hamm und Soest). Böden aus Löß mit

entsprechend hohen Schluffgehalten haben aber auch in Teilgebieten des Niederrheinischen Tieflandes große Bedeutung und kommen in geringerem Umfang in der Westfälischen Tieflandsbucht vor.

Die Westfälische Tieflandsbucht ist in erster Linie mit glazialen Sedimenten ausgelegt, die die Körnung der Böden bestimmen. Die häufigsten Bodenarten sind Sand, sandiger Lehm und lehmiger Sand, während im Kernmünsterland im Bereich der Kreise Warendorf und Coesfeld steinige, sandige bis tonige Lehme vorherrschen.

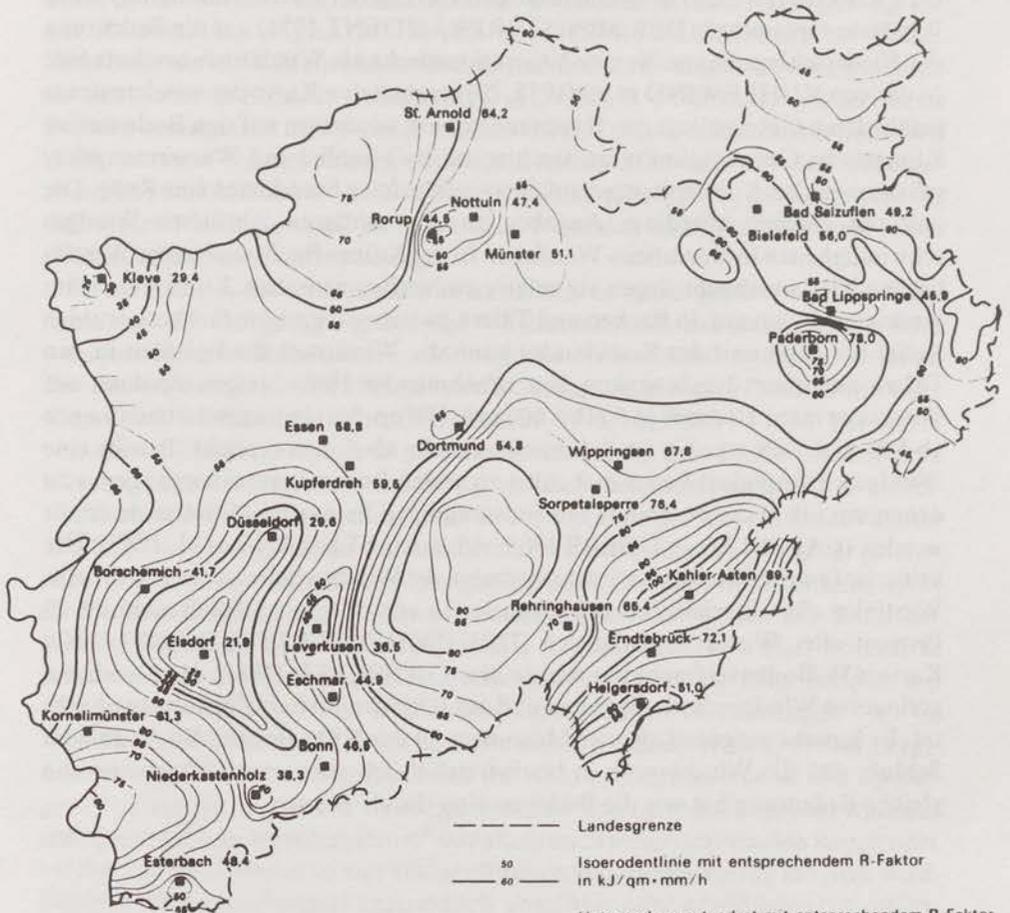
Leichte sandreiche Böden, allerdings oft durchsetzt mit Lehmen bis tonigen Lehmen, sind auch kennzeichnend für die nördlichsten Randbereiche Nordrhein-Westfalens am Übergang zu den Geestflächen des Nachbarlandes Niedersachsen. Die durch die Flußablagerungen bestimmten Bodenarten beiderseits des Rheines liegen bis in die Niederrheinebene hinein meist im lehmig-sandigen bis lehmigen Bereich. In der Unteren Rheinniederung nehmen dann die Sandböden einen deutlich höheren Flächenanteil ein. Böden auf Flugsand kommen verbreitet am Ostrand der Kölner Bucht vor (Bergische Heideterrasse).

### 3.3 Niederschlags- und Winderosität

Die Erosivitäten des Niederschlages und des Windes sind weitere bestimmende Faktoren für die Bodenerosion. Nordrhein-Westfalen liegt „in einem überwiegend maritim geprägten Bereich mit allgemein kühlen Sommern und milden Wintern“ (DEUTSCHER WETTERDIENST 1989, 2). Die Reliefstruktur des Landes führt jedoch oft zu kleinräumigen Variationen und erheblichen klimatischen Unterschieden: Luvgebiete sind geprägt durch stärkere Bewölkung, weniger Sonnenschein und höhere Niederschläge, Leegebiete erhalten mehr Sonnenschein bei geringerer Bewölkung und weniger Niederschlag. Die Geländehöhe hat wesentlichen Einfluß auf Niederschlag, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Bewölkung und Nebel. Im Klimaatlas von Nordrhein-Westfalen wird daher eine Zweiteilung der klimatischen Struktur des Landes vorgenommen: Die Niederungen umfassen das Niederrheinische Tiefland, die Niederrheinische Bucht, die Westfälische Tieflandsbucht sowie Höhenlagen unter 15 m ü. NN. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt hier mehr als 9° C, die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 3 — 3,5 m/s, im Sommer fällt ein Großteil der Niederschläge, unter Umständen in Form erosiver Starkregen. Eifel, Weserbergland und Suederbergland bilden die Mittelgebirge mit höhenabhängiger Temperaturabstufung und einem zweiten Niederschlagsmaximum im Winter. Die Windgeschwindigkeiten werden stark durch das Relief modifiziert und nehmen mit der Höhe zu.

Auf der Grundlage von langjährigen Regenschreiberaufzeichnungen erarbeitete SAUERBORN (1994) eine Isoerodentkarte von Nordrhein-Westfalen (s. a. SAUERBORN u. ERDMANN 1993), die die gebietsspezifische Erosivität der Niederschläge darstellt (vgl. Abb. 3). Diese wird aus kinetischer Energie und Niederschlagshöhe der Starkregen nach der „Universal Soil Loss Equation“ von

Abb. 3: Isoerodentkarte von Nordrhein-Westfalen (aus SAUERBORN 1994)



- Landesgrenze
- 50 Isoerodentlinie mit entsprechendem R-Faktor in kJ/qm·mm/h
- 60 Isoerodentlinie mit entsprechendem R-Faktor in kJ/qm·mm/h
- Untersuchungsstandort mit entsprechendem R-Faktor in kJ/qm·mm/h (errechnet aus Stationsdaten)
- Untersuchungsstandort mit entsprechendem R-Faktor in kJ/qm·mm/h (geschätzt mit Hilfe von Regressionsanalysen)

Kartengrundlage: Bundesrepublik Deutschland (physisch)  
 Stand: 01.03.1993, M. 1:830000  
 J. Perthes, Darmstadt

Entwurf: P. Sauerborn

0 20 40 60 80 100 km

WISCHMEIER u. SMITH (1978) errechnet und als R-Faktor in  $\text{kJ/m}^2 \times \text{mm/h}$  ausgedrückt. Die untersuchten Meßstationen weisen reliefbedingt sehr unterschiedliche Erosivitäten zwischen 21,9 und 78,0  $\text{kJ/m}^2 \times \text{mm/h}$  (Elsdorf und Paderborn) auf. Mit zunehmender Geländehöhe steigen auch die R-Werte an, so daß die ermittelten Isolinien der Karte das Relief des Landes nachzeichnen.

Die schon in den vierziger und fünfziger Jahren begonnenen Untersuchungen zur Winderosion in Nordrhein-Westfalen konzentrierten sich auf die besonders

ausblasungsgefährdeten Regionen, die durch leichte Böden gekennzeichnet sind. LEY u. ROEHL (1951) weisen in ihrer Erläuterung der Karte „Raumanalyse zur Windschutzplanung“ (DER MINISTERPRÄSIDENT 1951) auf die Bedeutung der Niederschlagsmenge für eine Vegetationsdecke als Winderosionsschutz hin. In der von KUHLEWIND et al. (1955, 20) erarbeiteten Karte der winderosionsgefährdeten Gebiete liegt das Hauptaugenmerk wiederum auf den Bodenarten. Klimatische Gesichtspunkte spielen hier nur im Hinblick auf Wassermangelerscheinungen bei Kulturpflanzen auf dürregefährdeten Standorten eine Rolle. Die Autoren machen allerdings Angaben zu den mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten in Nordrhein-Westfalen: In der Kölner Bucht und in der Westfälischen Tieflandsbucht liegen sie relativ einheitlich zwischen 3 und 4 m/s, im niedrigen Hügelland, in Becken und Tälern zwischen 2 und 3 m/s. Das unruhige Relief der Eifel und des Sauerlandes kann die Windgeschwindigkeiten in den Tälern auf unter 2 m/s senken, mit zunehmender Höhe steigen sie dann auf Werte von mehr als 4 m/s in 500 bis 600 m ü. NN an. Nur in ungeschützten Lagen ab 800 m ü. NN werden im Jahresmittel mehr als 6 m/s erreicht. Bereits eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s führt zu ersten Bodenerosionsvorgängen, von denen vor allem die besonders erosionsanfälligen Fein- und Mittelsande erfaßt werden (CAPELLE u. LÜDERS 1985; vgl. auch NEEMANN et al. 1989). Die kritische Grenze von 5 m/s wird an vierzehn, die Windverhältnisse in Nordrhein-Westfalen charakterisierenden Meßstationen von durchschnittlich mehr als 25 Prozent aller Winde überschritten (DEUTSCHER WETTERDIENST 1989, Karte 43). Bodenverfrachtung wurde von GIESSÜBEL (1987) aber auch bei geringeren Windgeschwindigkeiten und auf Böden mit feiner Körnung beobachtet. Er kommt aufgrund eigener Messungen in der Köln-Bonner-Bucht zu dem Schluß, daß die Winderosion in landwirtschaftlich genutzten Lößgebieten die gleiche Bedeutung hat wie die Bodenerosion durch Wasser.

#### 4. Prozesse und Formen der Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen

Die Reliefbedingungen in Nordrhein-Westfalen, die intensive landwirtschaftliche Nutzung der Böden und ihr weites Körnungsspektrum sowie die Erosivität des Niederschlages und des Windes ermöglichen verschiedene Bodenerosionsprozesse, die isoliert, aber auch miteinander verknüpft ablaufen können. Anhand einiger Fallbeispiele sollen die Prozesse illustriert und kommentiert werden.

Flächenhafte Bodenerosion durch Wasser setzt ein, wenn die kinetische Energie des Regens ausreicht, um Einzelpartikel von der Bodenoberfläche zu lösen, die Infiltrationskapazität des Bodens überfordert ist und oberflächlich abfließendes Wasser die Partikel abtransportieren kann. Die Zusammenhänge zwischen dem flächenhaften Bodenabtrag und der Charakteristik natürlicher Regen wurden in Nordrhein-Westfalen erstmals von KURON et al. (1956) auf einem Tonschieferverwitterungsboden des Rothaargebirges untersucht. Heute liegen auch Ergebnisse zu einer größeren Zahl von Standorten in Nordrhein-

Westfalen vor (BOTSCHEK 1991). Die große Bedeutung der schnell veränderlichen, dynamischen Oberflächenzustände Bodenfeuchte und Aggregation für den Bodenabtrag zeigten POTRATZ et al. (1991) an Lößböden im Pleiser Hügelland auf. Die flächenhafte Bodenerosion durch Wasser wird häufig auch als „schleichende Erosion“ bezeichnet (DIEZ 1985, 3), da sie keine spektakulären Formen erzeugt und daher kaum erkannt wird. Tatsächlich kann aus den oben beschriebenen Voraussetzungen für die Bodenerosion und aus den Untersuchungen von KURON et al. (1956) sowie BOTSCHEK (1991) gefolgert werden, daß dieser Erosionsprozeß in Nordrhein-Westfalen häufig abläuft und somit erhebliche Bodenvolumina bewegt.

Konzentrierter Oberflächenabfluß kann sich in Abhängigkeit von der Wassermenge, der Hangneigung und der Widerstandskraft des Bodens mehr oder weniger tief in den Boden einschneiden und lineare Erosionsformen hervorrufen. Der Prozeß der Grabenerosion schafft ausgeprägte lineare Formen von über 45 cm Tiefe bei variabler Breite (ROHR et al. 1990, 13). PROTT (1951) berichtet von einem Starkregenereignis im Sauerland, das in den Kreisen Brilon und Meschede (heute: Hochsauerlandkreis) zu Grabenerosion führte und in einzelnen Gemeinden Gräben von mehr als 80 cm Tiefe riß. Erhebliche Ernteverluste und hohe Sanierungskosten waren die unmittelbare Folge. Noch stärker gefährdet als die steilen, waldreichen Mittelgebirgslagen sind die schluffreichen, leicht erodierbaren und intensiv landwirtschaftlich genutzten Böden am Rand der Mittelgebirge (vgl. HEMPEL 1963, Karte 1, südlicher Teil). Hier kommt es immer wieder zu katastrophalen Erosionsereignissen, wie zum Beispiel am 4. September 1987 im Raum Rüthen am Nordabfall des Haarstranges.

MÜLLER-MINY (1953) berichtet von einem Erosionsprozeß, der im Bergischen Land auf Acker, Grünland und im Wald beobachtet wurde: Die Springenerosion tritt dann auf, wenn „periodische und episodische, meist winterliche, quellenartige Wasseraustritte“ vor allem nach langandauernden Regen oder bei der Schneeschmelze so viel Wasser fördern, daß Bodenabtrag möglich wird. Dabei wird Bodenmaterial unterirdisch abgeführt oder oberflächlich erodiert. Da das Springenwasser nur kurzzeitig und im Zusammenhang mit Regenperioden fließt, speist es sich vermutlich aus Stauwasser. Es kann sich aber ebenso um Grundwasser handeln, das bei einem Wasserüberangebot nicht nur als Quellwasser austritt, sondern auch die einzeln oder vergesellschaftet auftretenden Springenöffnungen als weitere Ausflußstellen nutzt (MÜLLER-MINY 1953).

Derselbe Autor beobachtete ebenfalls im Bergischen Land den Prozeß der „intra-kutanen Erosion“, die für eine unterirdische Substratabfuhr sorgen kann und durch linear fließendes Grund-, Stau- oder Quellwasser ausgelöst wird (MÜLLER-MINY 1953). SCHRÖDER (1973) kommt aufgrund eigener Untersuchungen im gleichen Naturraum zu dem Schluß, daß der in der neueren Literatur als Tunnelerosion (vgl. BOUCHER 1990) bezeichnete Prozeß nur in feinsandig-schluffigen Böden, insbesondere im Löß, auftritt. In Mulden fließt auf undurchlässigem Untergrund mit mäßiger Neigung Wasser zusammen und spült die aufliegende Lößdecke aus. Dünne Lößdecken sind nach SCHRÖDER (1973) stärker gefährdet, weil ihre Wasserkapazität schneller aufgefüllt ist als die mächtigerer Löss. Zudem verlaufen die natürlichen Kanalsysteme wie Wurzel- und Tiergänge, Frostspalten und Schwundrisse, welche die unterirdische Ero-

sion begünstigen, nur verhältnismäßig nah an der Bodenoberfläche. Wenn die erosive Kraft des unterirdischen Abflusses ausreicht, wird die Bodendecke so weit unterminiert, daß sie schließlich einbricht und sogenannte Senk- oder Sinklöcher entstehen. Diese Senklöcher bilden sich im Bergischen Land auf Acker- und Grünland sowie im Wald (MÜLLER-MINY 1953; SCHRÖDER 1973). Sie können eine Gefahr für den Menschen, aber auch für Weidevieh darstellen und erfordern hohen Sanierungsaufwand.

Die fruchtbaren Auenböden werden auch in Nordrhein-Westfalen größtenteils intensiv ackerbaulich genutzt. Ihre Lage im Überflutungsbereich der Täler setzt diese Ackerböden der fluvialen Bodenerosion aus, die zum Beispiel in Bayern Bodenverluste bis zu 50 t/ha pro Jahr verursacht (BUND NATURSCHUTZ IN BAYERN 1987). Beobachtungen nach einem Sieghochwasser von HEUSCH et al. (1993) bestätigen die Bedeutung dieses Erosionsprozesses. Die Feststoffumlagerung verursacht beträchtliche ökonomische und ökologische Schäden. Während im Erosionsbereich ökologisch wichtige Bodenfunktionen ausgeschaltet werden, führt die Materialaufschüttung zur Minderung des Standortpotentials der Böden.

Die gravitative Hangabtragung oder Massenselbstbewegung stellt eine Sonderform der allgemeinen Denudation dar. Im Unterschied zur Bodenerosion, der Abspülung von Bodenmaterial, wird in diesem Fall eine Rutschbewegung von Gesteins- oder häufiger noch Erdmassen durch hohe Niederschläge während mehrerer Tage oder gar Wochen ausgelöst. Relief, Gesteinsart und -lagerung sowie Mächtigkeit und Lagerung pleistozäner Deckschichten sind weitere Steuerungsfaktoren, die die gravitative Massenverlagerung stärker beeinflussen als die Nutzung. Bei hohem Ton- und Wassergehalt und geringer Geschwindigkeit des Abgehens spricht man — in Abgrenzung zu Felsstürzen an Steilhängen — üblicherweise von Hangrutschungen; sofern nur die ein bis wenige Meter mächtigen Deckschichten betroffen sind, von Bodenrutschungen: Hang- und Bodenrutschungen wurden in Nordrhein-Westfalen vor allem in der südlichen Niederrheinischen Bucht dokumentiert und nach Typen und Alter gegliedert (GRUNERT u. HARDENBICKER 1991; HARDENBICKER 1994). Sie spielen aber auch in anderen Landesteilen eine Rolle und bilden ein Gefährdungspotential für land- und forstwirtschaftliche Flächen und für Bauwerke, aber auch für die gewachsenen Böden, die umgelagert bzw. zerstört werden können. Nachfolgende Vernässung destabilisiert die Böden zusätzlich und kann dann Bodenerosionsvorgänge erleichtern (HARDENBICKER et al. 1992).

Der Prozeß der Winderosion spielt zwar in Nordrhein-Westfalen nicht die gleiche Rolle wie in den nördlicheren Bundesländern, er darf jedoch nicht unterschätzt werden. Die verheerenden Folgen von Kahlschlägen etwa zeigten sich auf den Terrassen- und Flugsanden bei Kaldenkirchen (Kreis Viersen), wo die vornehmlich aus westlichen Richtungen wehenden Winde nach 1945 großen Schaden anrichteten (MARTIN 1951). Auch RICHTER (1965, 378 ff.) warnt vor der Auswehungsgefährdung von Flugsand- und Dünengebieten der Westfälischen Tieflandsbucht und des Niederrheinischen Tieflandes, weist aber darüber hinaus auf die Winderosionsschäden auf Lössen in den flachen ausgeräumten Landschaften von Zülpicher und Jülicher Börde hin (vgl. GIESSÜBEL 1987).

## 5. Schutzmaßnahmen

Einen entscheidenden Einfluß auf das Auftreten und das Ausmaß der Bodenerosion hat die Bodennutzung, die gerade an steilen Hängen und auf flachgründigen Böden nur forstlich oder als Grünland möglich ist. Auf die gleiche Weise werden oft die leichten und ausblasungsgefährdeten Böden der Ebenen genutzt und so vor der Bodenerosion geschützt. Aber auch bei landwirtschaftlicher Nutzung kann die Durchführung entsprechender acker- und pflanzenbaulicher (WOLFGARTEN et al. 1988; HEYLAND u. SAUSEN 1991) sowie verfahrenstechnischer Maßnahmen (KROMER 1991) erosionsmindernd wirken.

Zur Vermeidung des wohl bedeutendsten Bodenerosionsprozesses, der flächenhaften Abtragung und der sich möglicherweise daraus entwickelnden linienhaften Bodenerosion liegen in den Lößlandschaften Nordrhein-Westfalens umfangreiche Erfahrungen mit verschiedenen Säverfahren vor, die vor allem für die besonders erosionsbegünstigenden Kulturen wie Mais und Zuckerrüben entwickelt wurden. Sie zielen darauf ab, die Bodenbedeckung zur Saatzeit und während der Jugendentwicklung der Bestände zu gewährleisten, um die Aufprallwirkung der Regentropfen abzufangen und die Infiltration von Oberflächenwasser zu verbessern. Der Einsatz bodenschonender Bearbeitungstechniken soll die Struktur der Böden erhalten und Verdichtungen, die Oberflächenabfluß auslösen können, verhindern (s. Literaturliste bei BOTSCHEK et al. 1991).

Die aus Gründen des Gewässerschutzes immer wieder diskutierte Filterwirkung von gewässerbegleitenden Vegetationsstreifen ist unbefriedigend; der Eintrag von Bodenmaterial und Agrochemikalien in die Vorfluter wird mit Hilfe dieser Methode nicht ausreichend abgefangen (z. B. AUERSWALD u. HAIDER 1992). Umfassende Vermeidungsstrategien werden im „Kooperationsmodell Landwirtschaft und Gewässerschutz in Nordrhein-Westfalen“ (DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1990 a) in zwei Testgebieten, dem Einzugsgebiet des Halterner Stausees (Raum Haltern-Nottuln-Münster) und dem Frischhofsbachgebiet (Raum Steinfurt-Emsdetten-Neuenkirchen), erprobt. Die Belastung der Oberflächengewässer soll hier nicht in erster Linie über ordnungspolitische Maßnahmen, sondern mittels Kooperation zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft vermindert werden.

Die Bekämpfung der Tunnelerosion darf sich nicht auf das Auffüllen der Sinklöcher beschränken, welche früher oder später durch den gleichen Erosionsprozeß wieder entstehen. BOUCHER (1990, 36 ff.) beschreibt verschiedene australische Meliorationsverfahren: mechanische Methoden, wie die Tiefenlockerung, chemische Methoden, das sind bestimmte Düngungsmaßnahmen, pflanzenbauliche Methoden zur Nutzung von Wasserüberschüssen und die Kombination dieser Methoden. SCHRÖDER (1973, 29 f.) empfiehlt dagegen für die schluffreichen Böden des Bergischen Landes, das Zuschußwasser, das aus höheren Geländepositionen in die gefährdeten Hangbereiche einsickert, aufzufangen und abzuleiten, damit unterirdischer Abfluß gar nicht erst einsetzen kann.

Bei Hochwasser sind ackerbaulich genutzte Auenböden großflächig von fluvialer Bodenerosion bedroht. Die natürliche Auenvegetation und die Grünland-

nutzung stabilisieren dagegen die Böden und schützen sie vor Bodenerosion (vgl. HEUSCH et al. 1993). In Verbindung mit Gewässerrückbaumaßnahmen, wie sie im „Gewässerauenprogramm“ von Nordrhein-Westfalen (DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1990 b) vorgesehen sind, können Nutzungsänderungen dazu beitragen, erosionsgefährdete Auen wieder zu stabilisieren und zu natürlichen Sedimentationsräumen zu machen.

Schutzmaßnahmen gegen gravitative Hangabtragungen sind zwar ingenieurtechnisch möglich, sie kommen aber aufgrund des hohen Aufwandes nicht für jede Nutzung in Frage. Vorbeugende geologische Untersuchungen der Hänge ermöglichen die Einplanung von Sicherungen für den Bau von Straßen und Gebäuden. Eine gewisse hangstabilisierende Wirkung hat offenbar auch die Nutzung als Wald.

Die „Richtlinien für den Windschutz“ wurden schon 1955 veröffentlicht (KUHLEWIND et al. 1955) und gehen auf die Untersuchungen des Windschutzmeßdienstes zurück, der vom Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Nordrhein-Westfalen, eingerichtet wurde. Ziel dieser Arbeiten war die Förderung von Windschutzanlagen in winderosionsgefährdeten Gebieten, um die landwirtschaftliche Produktivität der Böden zu erhalten. Obwohl Natur- und Bodenschutz heute auch andere Aspekte umfassen, sind die Richtlinien nach wie vor aktuell und bieten in Verbindung mit der Karte der „Raumanalyse zur Windschutzplanung 1:1 000 000“ (DER MINISTERPRÄSIDENT 1951) eine gute und praktikable Grundlage für entsprechende Schutzmaßnahmen.

## 6. Auswirkungen neuerer Entwicklungen auf die Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen

Verschiedene agrarpolitische Entscheidungen führen in Nordrhein-Westfalen gegenwärtig zu Landnutzungsänderungen, die Auftreten und Ausmaß der Bodenerosion beeinflussen dürften.

Kern der EG-Agrarreform 1992 sind drastische Erzeugerpreissenkungen und der Abbau von Subventionen für verschiedene landwirtschaftliche Produkte mit dem Ziel eines ausgewogenen Marktgleichgewichtes und der Reduzierung von Überschüssen. Flächenbezogene Ausgleichszahlungen sollen Einkommensverluste der Landwirte kompensieren. So erhalten die Teilnehmer am 1992 angelauten „konjunkturellen Flächenstilllegungsprogramm“ produktspezifische Preisausgleichszahlungen und eine Stilllegungsprämie, wenn sie 15 Prozent der insgesamt beihilfeberechtigten Fläche für die Zeit vom 15. Dezember bis zum 15. Juli des Folgejahres aus der Produktion nehmen (DER BUNDESMINISTER FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1992). Auswirkungen der Flächenstilllegung auf die Bodenerosion sind in mehrfacher Hinsicht wahrscheinlich: Laut Durchführungsverordnung ist auf den stillgelegten Flächen die Selbstbegrünung zugelassen, auch eine gezielte Begrünung ist möglich, während eine Schwarzbrache nicht erlaubt ist. Der Aufwuchs ist mindestens

einmal zu mähen oder zu mulchen, er verbleibt jedoch auf der Fläche. Diese Bedingungen führen zu einem hohen Bodenbedeckungsgrad, begünstigen die Zunahme des Humusvorrates im Oberboden und tragen zu Strukturverbesserungen der Böden bei (AG BODENSCHUTZ 1992), so daß die Bodenerodierbarkeit abnimmt. Das Ausmaß der Veränderung der Bodeneigenschaften hängt von der Dauer bzw. von der Häufigkeit der Brache ab. Für das Wirtschaftsjahr 1992/93 ist nur die Rotationsbrache erlaubt, das heißt eine Fläche kann nur jedes sechste Jahr stillgelegt werden. Insbesondere bei größeren Getreideanteilen ist jedoch ohnehin damit zu rechnen, daß die Stilllegung als Fruchtfolgeglied in den Anbau aufgenommen (LZ EXTRA 1992) und damit als Rotationsbrache praktiziert wird. Hier wird die Verringerung der Bodenerodierbarkeit weniger deutlich ausfallen als auf mehrjährig stillgelegten Flächen, für die vom Wirtschaftsjahr 1994 an ebenfalls Ausgleichszahlungen beantragt werden können (THOER 1993). Diese Dauerbracheflächen, die voraussichtlich fünf Jahre stillzulegen sind, sollen 20 Prozent der beihilfefähigen Fläche umfassen und versetzen den Landwirt in die Lage, anders als bei der einjährigen Stilllegung, gezielt die Standorte mit der schlechtesten Bodenqualität — das sind oft besonders erosionsgefährdete Lagen — aus der Bewirtschaftung zu nehmen.

Alternativ zur Begrünung der stillgelegten Flächen ist ihre Bebauung mit nachwachsenden Rohstoffen möglich. Hierzu zählen auch in Nordrhein-Westfalen seit langem kultivierte Arten wie Kartoffeln, Roggen und Mais, aber auch Pflanzen, zu denen bisher wenig Anbauerfahrungen vorliegen wie zu *Miscanthus sinensis*, Arten zur Herstellung von Korb- und Flechtwaren oder zur Herstellung von Riechmitteln. Entsprechend unbekannt ist auch ihre Wirkung auf die Boden-erosion, die bei jeder Anbauentscheidung berücksichtigt werden sollte.

Im Kammerbezirk Rheinland wurden 1992 im Rahmen der auslaufenden Stilllegungsmaßnahmen Prämien für insgesamt nur 9843 ha Stilllegungsfläche beantragt (LK RHEINLAND 1993). Zahlen für das Jahr 1993 liegen noch nicht vor.

Die mit der EG-Agrarreform angestrebte Extensivierung soll auch durch die Förderung der Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen erreicht werden. Die Gegenüberstellung der Aufforstungsprämien und der Kosten für die Aufforstung sowie die Berücksichtigung des Verlustes an landwirtschaftlicher Nutzfläche, der Wertminderung der Flächen und der Verzicht auf eventuelle Pachteinahmen machen die Aufforstung allerdings nur für ackerbauliche Grenzlagen und Grünlandstandorte interessant (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT 1993). Gerade die ackerbaulichen Grenzlagen sind auch in Nordrhein-Westfalen oft erosionsgefährdete und bereits erosionsgeschädigte Flächen, die auf diese Weise in eine standortgerechtere Nutzung überführt werden könnten.

Erosionsmindernd dürfte sich auch die Umwandlung von Acker in extensives Grünland und die Stilllegung von Ackerflächen für mindestens 20 Jahre auswirken. Entsprechende Fördermaßnahmen sind vorgesehen, aber noch nicht beschlossen.

Insgesamt ist auf den von der Flächenstilllegung bzw. von der Aufforstung erfaßten Flächen eine Verbesserung des Erosionsstatus zu erwarten. Es ist allerdings zu befürchten, daß die unter Ackernutzung verbleibenden Flächen umso

intensiver bewirtschaftet werden, so daß hier die Bodenerosionsgefährdung zunimmt (AG BODENSCHUTZ 1992). Auch der Anbau nachwachsender Rohstoffe kann unter Umständen das Erosionsrisiko erhöhen und ist daher kritisch zu beobachten.

Im Juni 1991 unterzeichneten nordrhein-westfälische Wasserverbände sowie Landwirtschafts- und Gartenbauverbände auf Initiative des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen eine Vereinbarung, die über die Kooperation von Landwirtschaft und Wasserversorgern einen flächendeckenden Gewässerschutz zum Ziel hat (RAHMENVEREINBARUNG 1991). Der freiwillige Zusammenschluß zwischen lokalem Wasserwerksbetreiber und den im örtlichen Kooperationsgebiet wirtschaftenden Landwirten soll den Austausch von Informationen und wasserwirtschaftlich wichtigen Fragen erleichtern und die Entwicklung standortangepaßter Handlungsstrategien zur Vermeidung des Eintrages von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln in die Gewässer fördern. Ausgleichszahlungen kompensieren erhöhte Aufwendungen der Landwirte. Erosionsrelevanter Bestandteil der Musterverträge sind Verbote und Einschränkungen des Maisanbaus (RAHMENVEREINBARUNG 1991). Zwar liegt der Schwerpunkt der Vereinbarung nicht auf der Vermeidung von Bodenerosion, der Einsatz von Wasserschutzberatern im Kooperationsgebiet bietet jedoch die Möglichkeit, gegebenenfalls auch eine Erosionsschutzberatung vorzunehmen. Die wissenschaftlichen Gesellschaften und Verbände des Agrar- und des Wasserfaches stimmen darin überein, daß gemeinsame Lösungsansätze auf freiwilliger Basis schon im Vorfeld rechtlicher Regelungen gesucht werden sollten (POSITIONSPAPIER 1993), da ein wirksamer Gewässerschutz nur durch Zusammenarbeit der Beteiligten zu erreichen ist.

Seit einigen Jahren werden verstärkt die möglichen Folgen anthropogener Klimaveränderungen diskutiert. De la HAYE u. SKOWRONEK (1993) werteten die Aussagen verschiedener Klimamodellrechnungen zur Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden aus. Die Modelle kommen je nach Ansatz zu unterschiedlichen Ergebnissen, sie prognostizieren aber allgemein eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur und Niederschlagsmenge, während noch keine zuverlässigen Daten hinsichtlich der geographischen Verteilung vorliegen. Dennoch ist über den Kontinentflächen mit verstärkten Niederschlägen zu rechnen, was auch in den mittleren Breiten aufgrund vermehrter konvektiver Niederschläge und struktureller Veränderungen der Niederschläge zu einer Erhöhung ihrer erosiven Energie (Regenerosivität) führen kann.

Die ansteigenden Durchschnittstemperaturen werden den Humusabbau in den Böden beschleunigen, deren Strukturstabilität verschlechtern und damit die Erosionsanfälligkeit der Böden (Bodenerodierbarkeit) verstärken (de la HAYE u. SKOWRONEK 1993). Darüber hinaus sind trockene Bodenaggregate zumindest schluffreicher Böden, die in Nordrhein-Westfalen einen Großteil der Agrarlandschaft bedecken, leichter erodierbar als feuchte (POTRATZ et al. 1991), so daß eine intensivere oder häufigere Bodenaustrocknung die Bodenerosion zusätzlich verstärken würde.

## 7. Zusammenfassung

Aufgrund seiner natürlichen Raumausstattung bietet Nordrhein-Westfalen sehr unterschiedliche Ansatzmöglichkeiten für Erosionsprozesse, die vor dem Hintergrund des jetzigen Forschungsstandes und der Erosionsvoraussetzungen wie Relief und Bodennutzung, Bodentextur sowie Niederschlags- und Winderosivität erläutert werden. Die differenzierte Darstellung der regionalen Verhältnisse dient als Grundlage für die Empfehlung von auf den jeweils wirksamen Erosionsprozeß abgestimmten Schutzmaßnahmen. Darüber hinaus werden mögliche Auswirkungen von Landnutzungsänderungen als Folge der aktuellen EG-Agrarpolitik und die Aussagen von Klimamodellrechnungen zur Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden unter anthropogen modifizierten Klimabedingungen diskutiert.

## Literatur

- AG BODENSCHUTZ 1992: Ist Flächenstillegung von Äckern aus bodenkundlicher Sicht sinnvoll? — Arbeitsgruppe Bodenschutz d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 6 S.
- AUERSWALD, K. u. J. HAIDER 1992: Eintrag von Agrochemikalien in Oberflächengewässer durch Bodenerosion. — Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 33, S. 222—229.
- AUERSWALD, K. u. F. SCHMIDT 1986: Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. — GLA-Fachberichte 1; München.
- BERNHARDT, H. 1976: Die Bedeutung der Erosion landwirtschaftlich genutzter Flächen als Ursache der eutrophierenden Phosphorbelastung stehender Gewässer. — Forschung und Beratung. Reihe C, 30, S. 139—166.
- BOTSCHKEK, J. 1991: Bodenkundliche Detailkartierung erosionsgefährdeter Standorte in Nordrhein-Westfalen und Überprüfung der Bodenerodierbarkeit (K-Faktor). — Hamburger Bodenkundl. Arb. 16, 131 S. Hamburg.
- BOTSCHKEK, J., GRUNERT, J. u. A. SKOWRONEK 1991: Bodenerosionsforschung an der Landwirtschaftlichen Fakultät und am Geographischen Institut der Universität Bonn — eine kommentierte Bibliographie. — Arb. z. Rhein. Landeskunde. 60, S. 55—69.
- BOUCHER, S. C. 1990: Field tunnel erosion — its characteristics and amelioration. — Department of Geography and Environmental Science, Monash University, Victoria, Australia.
- BUND NATURSCHUTZ IN BAYERN 1987: Katastrophale Erosionsschäden nach Hochwasser. — Natur und Landschaft 62, S. 174.
- CAPELLE, A. u. R. LÜDERS 1985: Die potentielle Erosionsgefährdung der Böden in Niedersachsen. — Göttinger Bodenkundl. Ber. 83, S. 107—125.
- DER BUNDESMINISTER FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1992: Die EG-Agrarreform, Nov. 1992. — Der Bundesminister f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten informiert.
- DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1989: Bodenschutz in Nordrhein-Westfalen. — Der Minister f. Umwelt, Raumordnung u. Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Ref. Öffentlichkeitsarbeit u. Ausstellungen.
- DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1990 a: RdErlaß d. Ministers f. Umwelt, Raumordnung u. Landwirtschaft v. 29. 1. 1990, AZ: I A 4 — 50.31.25 —, Düsseldorf.
- DER MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT 1990 b: Gewässerauenprogramm. — Der Minister f. Umwelt, Raumordnung u. Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- DER MINISTERPRÄSIDENT 1951: Raumanalyse zur Windschutzplanung 1:1 000 000. — Der Ministerpräsident — Landesplanungsbehörde, Düsseldorf.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT 1993: Aufforsten mit der EG-Agrarreform. — DLG Special, DLG-Mitteilungen 108(2), 28—29.

- DEUTSCHER WETTERDIENST 1989: Klimaatlas von Nordrhein-Westfalen. — Düsseldorf.
- DIETZ, T. 1985: Vermeiden von Erosionsschäden. — AID 108, Auswertungs- und Informationsdienst f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten (AID) e. V.
- EIKEL, G. 1991: Bodenschonung und pflanzenbauliche Eignung des Bonner Spaten-Einzelkornsäegerätes am Beispiel des Maisanbaus. — Forschungsber. Agrartechn. 208, 213 S.; Bonn.
- ERDMANN, K.-H., GRUNERT, J. u. U. HARDENBICKER 1990: Räumlich differenzierte Berechnung der Bodenerosionsgefährdung unter Verwendung der „Geomorphologischen Karte“ (GMK 25). — Verhandl. Gesellsch. Ökologie 19(2), S. 736—745.
- ERDMANN, K.-H. u. U. HARDENBICKER 1989: Die „Geomorphologische Karte“ (GMK 25) als Instrument zur Bestimmung der Bodenerosionsgefahr. — Verhandl. Gesellsch. Ökologie 19(1), S. 250—251.
- GIESSÜBEL, J. 1987: Zum Problem aktueller Bodenauswehung in der Köln-Bonner-Bucht und deren quantitativer Erfassung. — Göttinger Geogr. Abh. 84, S. 45—54.
- GROSSE, B. 1951: Die Bodenerosion in Westdeutschland — Vorläufiger Bericht über die bisherigen Ergebnisse der Bodenerosionskartierung. — Mitteilgn. aus dem Institut f. Raumforschung Bonn 2, 16 S.
- GROSSE, B. 1955: Die Bodenerosion in Westdeutschland — Ergebnisse einiger Kartierungen. — Mitteilgn. aus dem Institut f. Raumforschung Bonn 11, 35 S.
- GRUNERT, J. u. U. HARDENBICKER 1991: Hangrutschungen im Bonner Raum — ihre Genese und Kartierung für Planungszwecke. — Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 89, S. 35—48.
- HAIDER, J. 1991: Pestizide in Oberflächenabfluß und Bodenabtrag. — Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 66(2), S. 951—954.
- HARDENBICKER, U. 1994: Rutschungen im Bonner Raum. — Arb. z. Rhein. Landeskunde 65, 104 S.
- HARDENBICKER, U., GRUNERT, J. u. A. SKOWRONEK 1992: Bodenumlagerungen infolge von Hangrutschungen im Bonner Raum. — Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 68, S. 165—168.
- HÄUSER, V. L. u. E. A. HILER 1975: Rainfall-induced runoff computed for fallow fields. — Transactions of the ASEA 18, S. 122—125.
- HAYE, U. de la u. A. SKOWRONEK 1993: Zur Abschätzung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden infolge möglicher Klimaänderungen. — Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 69, S. 285—288.
- HEMPEL, L. 1963: Bodenerosion in Nordwestdeutschland. — Forsch. z. dt. Landeskunde 144, 16 S.; Bad Godesberg.
- HEUSCH, K., BOTSCHEK, J. u. A. SKOWRONEK 1993: Fluviale Erosion und Sedimentation auf landwirtschaftlich genutzten Auenböden der Unteren Sieg. — Berliner Geogr. Arb. 78, S. 175—192.
- HEYLAND, K.-U. u. M. SAUSEN 1991: Erarbeitung eines Konzeptes des Erosionsschutzes in einer Fruchtfolge in Hanglagen. — Unveröff. Bericht, Inst. f. Pflanzenbau, Univ. Bonn.
- JUNG, L. u. R. BRECHTEL 1980: Messungen von Oberflächenabfluß und

- Bodenabtrag auf verschiedenen Böden der Bundesrepublik Deutschland. — Schriftenreihe d. Deutsch. Verb. f. Wasserwirtsch. u. Kulturbau (DVWK) 48, 139 S.; Berlin u. Hamburg.
- KROMER, K.-H. 1991: Minderung der Bodenerosion durch verfahrenstechnische Maßnahmen. — Vorträge der 43. Hochschultagung d. Landw. Fakultät d. Univ. Bonn v. 5. März 1991 in Bonn, S. 69—77.
- KROMER, K.-H. u. R. VÖHRINGER 1988: Konstruktion und Bau einer Bewässerungseinrichtung — Simulation von natürlichem Regen. — Forschungsendbericht GS 1132, Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und standortgerechte Landwirtschaft“, Univ. Bonn.
- KUHLEWIND, K., BRINGMANN, K., KAISER, H. u. H. BLENK 1955: Richtlinien für Windschutz, 1. Teil. — DLG-Verlag Frankfurt/Main, 62 S.
- KURON, H. 1936: Stand und Ziele der Bodenerosionsforschung. — Forschungsdienst 2(11), S. 542—547.
- KURON, H. 1943: Die Bodenerosion in Europa. — Forschungsdienst 16(1), S. 6—20.
- KURON, H., JUNG, L. u. H. SCHREIBER 1956: Messungen von oberflächlichem Abfluß und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden Deutschlands. — Schriftenreihe d. Kuratoriums f. Kulturbauwesen 5.
- LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK 1992: Statistisches Jahrbuch Nordrhein-Westfalen 1992. — Düsseldorf.
- LANDESVERMESSUNGSAMT o. J.: Digitales Geländemodell von Nordrhein-Westfalen. — Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, unveröff.
- LEY, N. u. K. ROEHL 1951: Windschutz als Maßnahme der Landesplanung. — Fredeburger Schriftenreihe 1951, S. 160—168.
- LITZ, N., KLEINE, W., MÜLLER-WEGENER, U. u. G. MILDE 1989: Erste Ergebnisse einer Studie zur Kontamination von Oberflächengewässern mit Pflanzenschutzmitteln. — Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 59(2), S. 1107—1112.
- LK RHEINLAND 1993: Förderungsmaßnahmen 1992. — Landwirtschaftskammer Rheinland, Ref. 224.
- LZ EXTRA 1992: Ratgeber Agrarreform. — Landw. Zeitschr. Rheinland 51/52, 19.12.92.
- MARTIN, E. J. 1951: Untergang und Wiederaufbau des Kaldenkirchener Grenzwaldes. — Fredeburger Schriftenreihe 1951, S. 43—47.
- MEYER, L. D. u. W. C. HARMON 1984: Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. — Soil Sci. Soc. Am. J. 48, S. 1152—1157.
- MÜCKENHAUSEN, E. 1952: Die Basis der Fruchtbarkeit der Böden Nordrhein-Westfalens. — Vorträge der 6. Hochschultagung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn-Poppelsdorf vom 15.—17. Sept. 1952.
- MÜCKENHAUSEN, E. u. H. WORTMANN 1953: Bodenübersichtskarte von Nordrhein-Westfalen 1:300 000. — Amt f. Bodenforschung, Landesstelle Nordrhein-Westfalen, Krefeld.
- MÜLLER, S. 1984: Oberflächenabfluß, Abschwemmung und Abtrag von landwirtschaftlichen Nutzflächen als mögliche Ursachen der Befruchtung von Trinkwassertalsperren. — Diss. Univ. Gießen, 225 S.

- MÜLLER-MINY, H. 1953: Bodenabtragung und Erosion im südbergischen Bergland. — Ber. z. dt. Landeskunde 12, S. 277—292.
- NEEMANN, W., SCHÄFER, W. u. H. KUNTZE 1989: Quantifizierung der Bodenerosion durch Wind — Windkanalmessungen. — Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 59(2), S. 1117—1120.
- ODINIUS, B. u. K.-H. ERDMANN 1991: Der Einfluß unterschiedlicher Hanglängen auf die Bodenerosion — experimentelle Untersuchungen im Bonner Raum. — Arb. z. Rhein. Landeskunde. 60, S. 107—117.
- OTTO, A. 1978: Fremdstoffbelastung der Gewässer in der Bundesrepublik Deutschland durch Land- und Forstwirtschaft. — Landwirtschaft — Angewandte Wissenschaft 214, 210 S.; Münster-Hiltrup.
- POSITIONSPAPIER 1993: Ergebnisse d. wiss. Arbeitstagung „Belastungen der Oberflächengewässer aus der Landwirtschaft — gemeinsame Lösungsansätze zum Gewässerschutz —“ am 24./25. März 1993 in Bonn, veranstaltet v. Dachverband Agrarforschung (DAF), v. Deutschen Verband f. Wasserwirtschaft u. Kulturbau e. V. (DVWK), v. d. Deutschen Gesellschaft f. Limnologie e. V. (DGL), v. d. Fachgruppe Wasserchemie d. Gesellschaft Deutscher Chemiker e. V. (FW).
- POTRATZ, K., HENK, U. u. A. SKOWRONEK 1991: Luftsprennung, Aggregatzerfall und Verschlammung als wichtige Prozesse der Erosionsdynamik — Ergebnisse von Starkregensimulationen an Lößböden. — Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 89, S. 21—33.
- PREUSS, O. 1977: Über den Nährstoffab- und -austrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen — dargestellt an einem definierten Wassereinzugsgebiet eines für die mitteldeutsche Gebirgslandschaft typischen Fließgewässers 3. Ordnung. — Diss. Univ. Göttingen, 166 S.
- PROTT, H. 1951: Bodenerosion im Sauerland und Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung. — Fredeburger Schriftenreihe 1951, S. 48—54.
- RAHMENVEREINBARUNG 1991: Rahmenvereinbarung zwischen Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V., Landesgruppe Nordrhein-Westfalen und Rheinischer Landwirtschaftsverband e. V., Westfälisch-Lippischer Landwirtschaftsverband e. V., Nordrhein-Westfälische Gartenbauverbände. — 3. Juni 1991 in Mülheim a. d. Ruhr.
- RICHTER, G. 1965: Bodenerosion — Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. — Forsch. z. dt. Landeskunde 152, 562 S., 9 Karten; Bad Godesberg.
- ROHR, W., MOSIMANN, T., BONO, R., RÜTTMANN, M. u. V. PRASUHN 1990: Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und -schäden auf Ackerflächen. — Materialien zur Physiogeographie 14, 56 S.
- RÖMKENS, M. J. M. 1985: The soil erodibility factor: a perspective. — In: S. A. EL-SWAIFY u. W. C. MOLDENHAUER, A. LO (ed.): Soil erosion and conservation. — Soil Conservation Soc. Am., S. 445—461.
- SAUERBORN, P. 1994: Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland. — Bonner Bodenkdl. Abh. 13 (im Druck).
- SAUERBORN, P. u. K.-H. ERDMANN 1993: Erosivität der Niederschläge und Isoerodentkarte von Nordrhein-Westfalen. — Wasser und Boden 1/1993, S. 22—24 u. 37—38.

- SCHRÖDER, D. 1973: Tunnelerosionen in schluffreichen Böden des Bergischen Landes. — Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 14, S. 21—31.
- SCHULTE-WÜLWER-LEIDIG, A. 1985: Der Einfluß unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bodennutzung auf die Stofffrachten kleiner Wasserläufe der Wahnbachtalsperrenregion. — Diss. Univ. Gießen, 234 S.
- STEIN, O. R., NEILING, W. H., LOGAN, T. J. u. W. C. MOLDENHAUER 1986: Runoff and soil loss as influenced by tillage and residue cover. — Soil Sci. Soc. Am. J. 50, S. 1527—1531.
- THOER, K. 1993: Gute Böden sollten kurz stilliegen. — DLG-Mitteilungen/ agrar inform 8, S. 38—39.
- VOGL, W. u. H. H. BECHER 1985: Schätzung der Erodibilität des Bodens (K-Faktor) aus der Körnungsansprache nach der Reichsbodenschätzung. — Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 26, S. 179—183.
- WANDEL, G. mit Beiträgen von E. MÜCKENHAUSEN 1950: Neue vergleichende Untersuchungen über den Bodenabtrag an bewaldeten und unbewaldeten Hangflächen in Nordrheinland. — Geol. Jahrb. 65, S. 507—550.
- WISCHMEIER, W. H. u. D. D. SMITH 1978: Predicting rainfall erosion losses — a guide to conservation planning. USDA, Agric. Handbook No. 537.
- WOLFGARTEN, H.-J. 1990: Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verminderung der Bodenerosion und der Nitratverlagerung im Zuckerrübenanbau. — Diss. Univ. Bonn, 196 S.
- WOLFGARTEN, H.-J. u. H. FRANKEN 1988: Bestimmung der Erosionsgefährdung verschiedener Anbauverfahren (z. B. bei Zuckerrüben) mit Regensimulation — Bonner Regensimulator. — Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 56, S. 43—46.
- WOLFGARTEN, H.-J., FRANKEN, H. u. H. LEIPERTZ 1988: Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung der Bodenerosion und der Nitratverlagerung im Zuckerrübenanbau. — Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 1, S. 50—52.