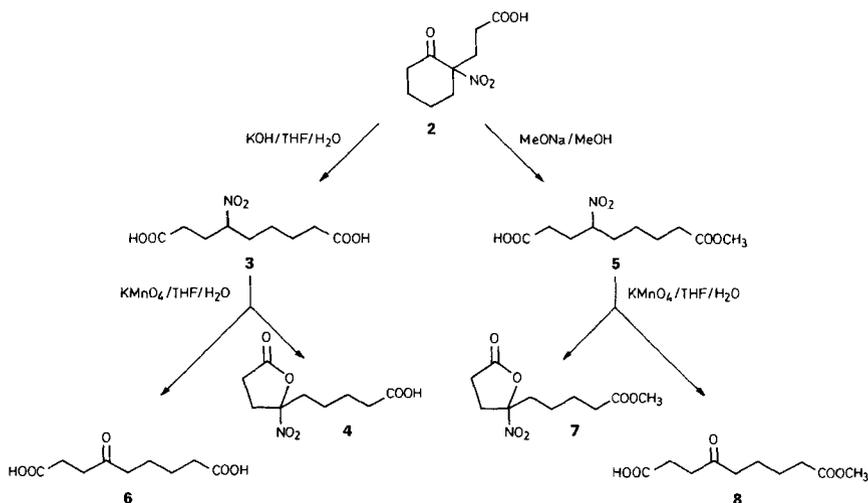


berichtet (*Schema 1*). Über den Reaktionsablauf dieser Oxidation wurden nur Vermutungen angestellt, experimentelle Fakten fehlten. Im folgenden geben wir nun die experimentellen Resultate einer eingehenderen Untersuchung wieder.

Bei der KMnO_4 -Oxidation von **1** in THF/ H_2O entstehen neben polaren Produkten (z. B. **3**) das erwähnte **4** (7,5%) und die Carbonsäure **2** (39%); *Schema 1*. Die (C(1)-C(2))-Bindung in **2** ist, wie frühere Arbeiten an analogen Verbindungen gezeigt haben [2], leicht durch externe Nucleophile zu öffnen: Unter wässrig-basischen Bedingungen erfolgt die Bildung der Nitrocarbonsäure **3** in nahezu quantitativer Ausbeute und mit NaOMe/MeOH diejenige des entsprechenden Monomethylesters **5** (76%; *Schema 2*). Unter diesen Bedingungen werden keine nennenswerten Mengen der entsprechenden Oxosäuren (Umwandlung $\text{C}(\text{NO}_2)\text{H} \rightarrow \text{C}=\text{O}$) gefunden. Die 4-Oxononandisäure (**6**) ist jedoch das Hauptprodukt der Oxidation von **1** mit KMnO_4 in wässriger KOH-Lösung. Die Verbindungen **4** und **6** werden auch bei der KMnO_4 -Behandlung der Carbonsäuren **2** und **3** gebildet. Auch der offenkettige Nitromethylester **5** bildet bei der Oxidation den Methylester von **4**, nämlich **7**, und den Oxomester **8** (*Schema 2*). Damit ist sichergestellt, dass bei der Herstellung von **4** aus **1** zunächst die Carbonsäure **2** entsteht, die hydrolytisch zur Nitrocarbonsäure **3** geöffnet wird. Letztere cyclisiert sich durch Angriff der 1-ständigen Carboxylat-Gruppe am Nitronat zu der nicht nachgewiesenen 5-(2,3,4,5-Tetrahydro-2-nitroso-5-oxo-2-furyl)pentansäure (**9**), die in Gegenwart von KMnO_4 zu **4** oxidiert wird (*Schema 1*).

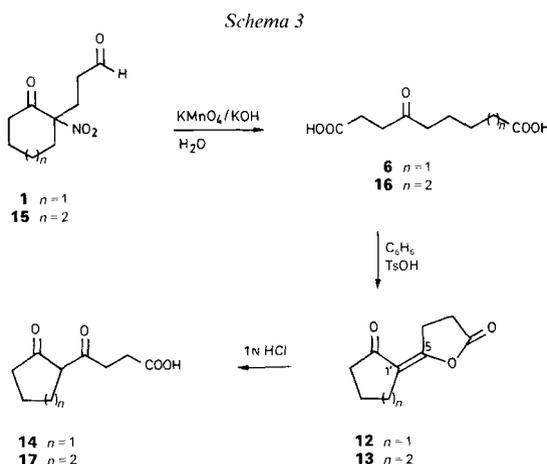
Schema 2



Wir hatten berichtet [1], dass das Nitrolacton **4** mit wässriger Säure in die Oxidocarbonsäure **6** übergeführt werden kann. Bei der Behandlung von **4** mit methanolischer HCl-Lösung wurde der **6** entsprechende Dimethylester **10** nachgewiesen. Ferner entstand auch der **4** entsprechende Methylester **7** (*Schema 2*). In mechanistischer Hinsicht von Interesse ist die Bildung des dritten Reaktionsproduktes aus **4**, des Monooxims **11**. Bei dieser Substanz handelt es sich um ein Gemisch stellungsisomerer Oxime. Durch Umsetzung von **6** mit NaNO_2 in methanolischer HCl-Lösung wurde das in spektraler und

chromatographischer Hinsicht gleiche Isomergemisch erhalten. Aus der Bildung von **11** lässt sich folgern, dass die NO_2 -Gruppe in **4** unter Einfluss des Äther-O-Atoms ionisch als Nitrit-Anion abgespalten wird. Durch Reaktion des Oxonium-Ions mit H_2O bzw. MeOH lassen sich die Produkte **8** und **10** erklären; **11** ist das Oximierungsprodukt von **10**. Die spontane Zersetzung von **4** unter Abspaltung nitroser Gase konnte in dieser Versuchsserie nicht beobachtet werden.

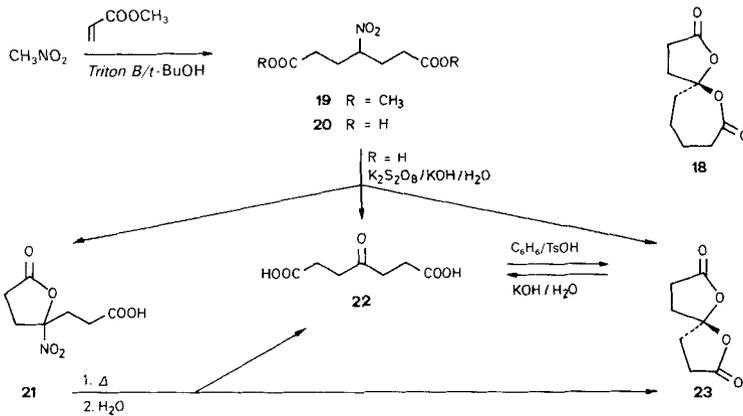
Wurde die Oxodicarbonsäure **6** in Benzol mit katalytischen Mengen *p*-Toluolsulfonsäure (TsOH) unter Wasserabscheidung gekocht, so bildete sich die Cyclopentyliden-Verbindung **12** (Schema 3). Hierbei handelt es sich um eine isomerenreine Substanz, deren Struktur aufgrund spektraler Daten zu (*E*)-4,5-Dihydro-5-(2-oxocyclopentyliden)furan-2(3H)-on bestimmt wurde. Die Entscheidung zwischen dem (*E*)- und dem (*Z*)-Isomeren geschah aufgrund der Ähnlichkeit spektraler Daten mit der durch Röntgenstrukturanalyse bestimmten Verbindung (*E*)-4,5-Dihydro-5-(2-oxocyclohexyliden)furan-2(3H)-on (**13**). Die Hydrolyse von **12** mit 1N wässriger HCl lieferte die kristalline 4-Oxo-4-(2-oxocyclopentyl)butansäure (**14**).



In Analogie zur Umwandlung des Nitroaldehydes **1** in die Oxodicarbonsäure **6** wurde aus 3-(1-Nitro-2-oxocycloheptyl)propanal (**15**) [3] mit $\text{KMnO}_4/\text{KOH}/\text{H}_2\text{O}$ die homologe Oxodicarbonsäure **16** erhalten (Schema 3). Neben unverändertem Ausgangsmaterial wurden bei der Umsetzung von **16** mit Benzol/TsOH die beiden Verbindungen **13** und **17** gebildet. Substanz **17** wurde als Hydrolyseprodukt von **13** nachgewiesen. Wie erwähnt, erfolgte die Strukturableitung von **13** auf röntgenographischem Wege. Hünig *et al.* [4] haben über die Bildung von **13** berichtet und das (*Z*)-Isomere abgebildet. Wir haben nach ihren Vorschriften die Verbindung synthetisiert und festgestellt, dass sie mit **13** identisch ist und es sich demzufolge um das (*E*)-Isomer handelt.

In [1] haben wir berichtet, dass sich das Nitrolacton **4** bei der Destillation zersetzt und bei der nachfolgenden DC-Analyse des Destillates nur die Anwesenheit der Oxodicarbonsäure **6** angezeigt wird. Als Zwischenprodukt wurde das Spirodilacton **18** (Schema 4) angenommen, welches hydrolytisch (DC) in **6** übergehen könnte. Die Umsetzungen (Benzol/TsOH) der Oxodicarbonsäuren **6** und **16** lieferten keine Hinweise auf die

Schema 4



Bildung entsprechender Spirodilactone. Wir haben daraus den Schluss gezogen, dass Spirodilactone mit 7-/5- bzw. 8-/5-Ringen sehr hydrolyse-empfindlich sind. Hingegen sollte die Kombination zweier 5-Ringe nach dieser Methode möglich sein [5] [6].

Der 4-Nitroheptandisäure-dimethylester (**19**) wurde durch Umsetzung von Nitromethan mit Acrylsäuremethylester erhalten [7] (Schema 4) und zur kristallinen Oxodicarbonsäure **20** hydrolysiert. Oxidation von **20** mit $K_2S_2O_8/KOH/H_2O$ [8] lieferte drei Produkte: 3-(2,3,4,5-Tetrahydro-2-nitro-5-oxo-2-furyl)propansäure (**21**), 4-Oxoheptandisäure (**22**) und das erwartete 1,6-Dioxaspiro[4.4]nonan-2,7-dion (**23**). Beim Schmelzen von **21** gefolgt von DC-Chromatographie der erstarrten Schmelze konnten sowohl das Spirodilacton **23** als auch die Oxodicarbonsäure **22** nachgewiesen werden. Letztere liess sich mit Benzol/TsOH in guter Ausbeute zu **23** (80%) umsetzen. Ausser dem Reaktionsgemisch konnten keine **12** oder **14** entsprechenden Produkte isoliert werden. Die basenkatalysierte Hydrolyse von **1** lieferte die Oxodicarbonsäure **22**. Die hier angeführten Befunde untermauern die in [1] angegebenen Reaktionswege der Bildung und Zersetzung von **4**.

Die vorliegende Arbeit wurde in dankenswerter Weise vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützt. Unser Dank gilt ferner den Herren A. Guggisberg und St. Bienz für technische Assistenz, Herrn Dr. R. Prewé für die Ausführung der Röntgenstrukturanalyse von **13** und den analytischen Abteilungen unseres Institutes für die Aufnahme der Spektren.

Experimenteller Teil

Allgemeines. Falls nicht anders angegeben gelten: Trocknen der org. Extrakte über $MgSO_4$, Schmp. auf Mettler FP-5. IR ($CHCl_3$): in cm^{-1} . 1H -NMR (200 MHz) und ^{13}C -NMR (50,4 MHz): Varian XL-200; in $CDCl_3$ relativ zu internem TMS, δ in ppm, J in Hz. CI-MS: MAT 112S; Isobutan. EI-MS: MAT 112S; m/z (> 5% ab m/z 40).

1. Reaktionen mit 3-(1-Nitro-2-oxocyclohexyl)propanal (1). – 1.1. 5-(2',3',4',5'-Tetrahydro-2'-nitro-5-oxo-2'-furyl)pentansäure (**4**). Entsprechend Versuch 2 in [1] wurden 0,50 g (2,5 mmol) **1** [9] in 5 ml THF mit 0,20 g (1,27 mmol) $KMnO_4$ in 10 ml H_2O oxidiert: 0,21 g (39%, schneller wandernd) 3-(1'-Nitro-2'-oxocyclohexyl)propansäure (**2**) [1] und 0,08 g (7,5%) **4**¹⁾.

¹⁾ Auf die Isolierung des im DC nachgewiesenen polaren Produktes **6** wurde verzichtet.

4: Schmp. 95–97° (Zers.; $\text{CHCl}_3/\text{Hexan}$). IR: 3500–2400 (COOH), 2950, 2880, 1822 (Lacton), 1715 (COOH), 1565 (NO_2), 1422, 1355, 1170, 1102, 1040, 928. $^1\text{H-NMR}$: 2,9–2,4 (*m*); 2,3–2,1 (*m*); 1,85–1,55 (*m*); 1,55–1,25 (*m*). $^{13}\text{C-NMR}$: 178,5, 173,3 (2s, CO); 114,6 (s, C(2')); 35,9, 33,3, 32,8, 26,4, 24,0, 22,6 (6 *t*). CI-MS: 203, 185 ($[\text{M}-\text{NO}_2]^+$). Anal. ber. für $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{NO}_6$ (231,21): C 46,75, H 5,67, N 6,06; gef.: C 46,89, H 5,86, N 6,22.

Wurde **1** mit anderen Oxidationsmitteln (NaMnO_4 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ oder 30% H_2O_2 in wässr. Lsg.) behandelt, so wurden neben **2** und **6** kleinere Mengen an **4** gebildet (DC, IR).

Nach der Umsetzung von **2** mit KMnO_4 entsprechend der oben beschriebenen Methode wurden **2**, **4** und **6** nachgewiesen. Ebenso wurden bei der KMnO_4 -Oxidation von **3**, **4** und auch **6** gebildet (DC, IR).

1.2. *4-Nitrononandisäure (3)*. Es wurden 1,50 g (7 mmol) **2** und 0,76 g (13,3 mol) KOH in 20 ml THF und 0,2 ml (11 mmol) H_2O vorgelegt. Nach 20 h Rühren bei 20° wurde mit AcOH bei –20° angesäuert, mit CHCl_3 extrahiert, der Extrakt getrocknet und eingedampft: 1,65 g (100%) Rohprodukt ergaben nach Chromatographie (CHCl_3 , Kieselsäure) 1,05 g (65%) **3**. Schmp. 81–82°. IR: 3500–2500 (COOH), 2950, 2880, 1715 (COOH), 1555 (NO_2), 1415, 1140, 1040. $^1\text{H-NMR}$: 10,76 (br., 2 COOH); 4,67–4,54 (*m*, H–C(4)); 2,55–1,94 (*m*, 7 H); 1,87–1,61 (*m*, 3 H); 1,49–1,35 (*m*, 2 H). $^{13}\text{C-NMR}$: 179,7, 178,1 (2 s, 2 COOH); 87,2 (*d*, C(4)); 33,5, 33,3, 29,9, 28,2, 25,0, 23,8 (6 *t*). CI-MS: 234 (11, $[\text{M}+1]^+$), 218 (10), 217 (7), 216 (59), 203 (14), 200 (8), 198 (14), 187 (49), 186 (6), 185 (71), 184 (5), 182 (5), 170 (9), 169 (92), 168 (20), 167 (87), 152 (11), 151 (86), 150 (13), 141 (19), 140 (5), 139 (16), 124 (20), 123 (100), 121 (8), 114 (5), 111 (7), 109 (7), 105 (8), 101 (9), 99 (6), 97 (5), 96 (6), 95 (33), 93 (10), 85 (16), 83 (9), 82 (6), 81 (58), 80 (6), 79 (18), 71 (6), 67 (17). Anal. ber. für $\text{C}_9\text{H}_{15}\text{NO}_6$ (233,22): C 46,35, H 6,48, N 6,01; gef.: C 45,90, H 6,60, N 6,02.

1.3. *Behandlung von 4 mit MeOH/HCl*. Eine Probe **4** wurde 20 min mit abs. MeOH/HCl behandelt, dann mit Na_2CO_3 neutralisiert, in $\text{H}_2\text{O}/\text{CHCl}_3$ aufgenommen und extrahiert. Die org. Phase wurde getrocknet und eingedampft. Der Rückstand wurde durch präp. DC ($\text{Et}_2\text{O}/\text{Hexan}$ 4:1) getrennt: 3-(Hydroxyimino)-4-oxononandisäure-dimethylester (**11**)/Isomer (schneller wandernd) und 4-Oxononandisäure-dimethylester (**10**).

11/Isomer: IR: 3560, 3400–3150 (OH), 2960, 1735, 1695, 1555, 1440, 1365. $^1\text{H-NMR}$: Gemisch ca. 2:3 (OH bei 9,11 und 8,83, 2 s). CI-MS: 260 ($[\text{M}+1]^+$), 143, 115 (100).

10 [10]: IR: 2960, 1730 (br.), 1440, 1365. $^1\text{H-NMR}$: 3,68 (s, CH_3); 3,67 (s, CH_3); 2,75–2,29 (*m*, 8 H); 1,69–1,59 (*m*, 4 H). CI-MS: 231 ($[\text{M}+1]^+$), 199.

Nach kürzeren Reaktionszeiten wurden im DC neben **10** und **11** auch **7** (vgl. Versuch 1.5) nachgewiesen. Durch Umsetzen von 4-Oxononandisäure (**6**) mit überschüssigem NaNO_2 in MeOH/HCl wurde nach üblicher Aufarbeitung ein Rohprodukt erhalten, welches mit Hexan/ Et_2O 2:1 chromatographiert (Kieselgel) ein Oxim-Gemisch ergab, welches gleiche Eigenschaften (DC, IR, $^1\text{H-NMR}$, CI-MS) wie **11**/Isomer aufwies.

1.4. *4-Nitrononandisäure-9-methylester (5)*. Zu 2,70 g (12,5 mmol) **2** in 50 ml MeOH wurde MeONa (50 mmol in 100 ml MeOH) bei 0° innerhalb 1 h entsprechend [2] zugetropft. Nach 2 h Rühren bei 0° wurde mit AcOH angesäuert, eingedampft, der Rückstand in $\text{CHCl}_3/1\text{N}$ wässr. HCl aufgenommen und die org. Phase abgetrennt, getrocknet und eingedampft: 3,07 g (99%) Rohprodukt. Umkristallisation aus $\text{Et}_2\text{O}/\text{Hexan}$ ergab 2,34 g (76%) **5**, beige Kristalle. Schmp. 45–46°. IR: 3500–2500 (COOH), 2960, 2870, 1735, 1605, 1555 (NO_2), 1440, 1370, 1100. $^1\text{H-NMR}$: 10,75 (br., COOH); 4,65–4,51 (*m*, H–C(4)); 3,68 (s, CH_3O); 2,48–1,93 (*m*, 7 H); 1,86–1,58 (*m*, 3 H); 1,45–1,30 (*m*, 2 H). $^{13}\text{C-NMR}$: 177,5 (s, COOH); 173,7 (s, COOR); 87,3 (s, C(4)); 51,6 (*q*, CH_3); 33,5, 33,4, 29,8, 28,2, 25,1, 24,1 (6 *t*). CI-MS: 248 ($[\text{M}+1]^+$). Anal. ber. für $\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{NO}_6$ (247,25): C 48,58, H 6,93, N 5,67; gef.: C 48,49, H 6,78, N 5,65.

1.5. *5-(2',3',4',5'-Tetrahydro-2'-nitro-5-oxo-2'-furyl)pentansäure-methylester (7)*. Zu einer Lsg. von 0,49 g (2,0 mol) **5** in 8 ml THF wurde 0,50 g (3,0 mmol) KMnO_4 in 15 ml H_2O gegeben und 24 h bei 20° gerührt. Dann wurde über Celite filtriert, die Lsg. mit 1N wässr. HCl angesäuert, mit CHCl_3 extrahiert und an Kieselsäure chromatographiert (CHCl_3). Nach Trocknen i. HV. (Entfernen von eventuell gebildetem γ -Butyrolacton aus THF) wurden zwei Produkte isoliert: 0,84 g (17%, schneller wandernd) **7**, farbloses Öl, und 0,23 g (53%) 4-Oxononandisäure-9-methylester (**8**), farblose Kristalle. Schmp. 62–64°.

7: IR (Film): 2960, 2880, 1820 (Lacton), 1740 (Ester), 1565 (NO_2), 1440, 1260, 1105, 1045, 930. $^1\text{H-NMR}$: 3,67 (s, CH_3O); 2,80–2,44 (*m*, 5 H); 2,37–2,30 (*t*, 2 H); 2,20–2,05 (*m*, 1 H); 1,77–1,51 (*m*, 3 H); 1,49–1,26 (*m*, 1 H). $^{13}\text{C-NMR}$: 173,4, 173,3 (2s, CO); 114,6 (s, C(2')); 51,6 (*q*, CH_3); 35,8, 33,4, 32,8, 26,4, 24,2, 22,7 (6 *t*). CI-MS: 246 ($[\text{M}+1]^+$), 199 (100, $[\text{M}-\text{NO}_2]^+$). Anal. ber. für $\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{NO}_6$ (245,23): C 48,98, H 6,17, N 5,71; gef.: C 48,30, H 6,08, N 5,40.

8: IR: 3400–2400 (COOH), 2960, 2870, 1722 (br.), 1605, 1445, 1415, 1370, 1105. $^1\text{H-NMR}$: 9,0–8,0 (COOH); 3,67 (s, CH_3O); 2,76–2,59 (*m*, 4 H); 2,52–2,45 (*m*, 2 H); 2,36–2,30 (*m*, 2 H); 1,70–1,59 (*m*, 4 H). $^{13}\text{C-NMR}$: 208,2 (s, CO); 178,2 (s, COOH); 173,9 (s, COOR); 51,5 (*q*, CH_3); 42,1, 36,7, 33,7, 27,7, 24,3, 23,1 (6 *t*). EI-MS: 198 (3, $[\text{M}-\text{H}_2\text{O}]^+$), 167 (22, $[\text{M}-\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_3\text{O}]^+$), 143 (24), 139 (17), 125 (8), 124 (6), 121 (6), 116 (43), 115 (16), 112 (6),

111 (81), 101 (50), 98 (34), 97 (8), 93 (5), 87 (39), 84 (10), 83 (30), 74 (9), 73 (54), 69 (5), 59 (41), 57 (7), 56 (16), 55 (100), 45 (21), 43 (19), 42 (11), 41 (25). Anal. ber. für $C_{10}H_{16}O_5$ (216,24): C 55,55, H 7,46; gef.: C 55,54, H 7,53.

Bei der Oxidation von **5** mit $K_2S_2O_8$ [8] wurden **7** und **8** nachgewiesen (DC und IR).

1.6. *4-Oxononandisäure* (**6**). Zu 1,0 g (5,0 mmol) **1** in 20 ml H_2O wurden 0,1 g (1,8 mmol) KOH und dann 1,0 g (6,3 mmol) $KMnO_4$ gegeben und nach 1 h bei 20° über *Celite* filtriert. Daraufhin wurde mit wässr. KOH-Lsg. stark basisch gestellt und auf 50° erhitzt, bei 20° mit 1N wässr. HCl stark sauer gestellt, eingedampft und mit Aceton extrahiert, das Lsgm. eingedampft und der Rückstand aus AcOEt/Hexan umkristallisiert: 0,62 g (61%) **6**, farblose Kristalle. Schmp. 107–108°. Die spektralen Daten stimmen mit den früher publizierten überein [1] [11].

1.7. (*E*)-*4,5-Dihydro-5-(2'-oxocyclopentyliden)furan-2(3H)-on* (**12**). In 150 ml Benzol wurden 300 mg (1,49 mmol) **6** und 300 mg (1,6 mmol) TsOH· H_2O unter dem Wasserabscheider gekocht. Nach 4 h wurde auf 20° abgekühlt, über Kieselsäure filtriert und das Filtrat eingedampft: 170 mg (70%) **12**. Schmp. 109–110° (Cyclohexan), farblose Nadeln. IR: 2930, 2860, 1820 (Lacton), 1725 (CO), 1650 (C=C), 1435, 1415, 1305, 1290, 1120, 1075, 1010, 1000, 970, 910, 840. IR (KBr): u. a. 1715, 1650, 1635. 1H -NMR: 3,40–3,29 (*m*, 2 H–C(4)); 2,79–2,69 (*m*, 2 H–C(5'), 2 H–C(3)); 2,40–2,32 (*t*, 2 H–C(3')); 2,04–1,89 (*m*, 2 H–C(4')). ^{13}C -NMR: 208,4 (*s*, C(2')); 174,2 (*s*, C(2)); 158,3 (*s*, C(5)); 113,0 (*s*, C(1')); 39,7, 26,3, 26,0, 25,4, 20,0 (5 *t*). CI-MS: 167 ($[M+1]^+$). Anal. ber. für $C_9H_{10}O_3$ (166,18): C 65,05, H 6,07; gef.: C 65,31, H 6,01.

1.8. *4-Oxo-4-(2'-oxocyclopentyl)butansäure* (**14**). In 100 ml 1N wässr. HCl wurden 170 mg (1,02 mmol) **12** 5 h bei 25° gerührt und dann mit $CHCl_3$ extrahiert. Der Extrakt wurde getrocknet, eingedampft und der Rückstand (140 mg (75%)) gelbliches, kristallines **14** umkristallisiert. Schmp. 65–66° (AcOEt/Hexan, farblose Nadeln). Die Substanz liegt als Keton/Enol-Gemisch vor. IR: 3510 (Enol), 3400–2300 (COOH), 2970, 1745 (CO), 1715 (CO). IR (KBr): 3700–2300 (COOH), 1705 (*br.*, CO), 1635, 1595, 1405, 1350, 1250. 1H -NMR: 3,49–3,37 (*m*); 3,25–3,09 (*m*); 2,88–1,82 (*m*). ^{13}C -NMR: 212,8, 202,4, 199,6, 191,3, 178,4, 178,2 (6 *s*); 109,7 (*s*, C(1'), Enol); 61,9 (*d*, C(1'), Keton); 38,7, 37,1, 35,8, 30,0, 28,6, 27,7, 25,8, 25,1, 20,7, 20,1 (10 *t*). CI-MS: 185 ($[M+1]^+$). Anal. ber. für $C_9H_{12}O_4$ (184,19): C 58,69, H 6,47; gef.: C 58,69, H 6,48.

2. Reaktionen mit 3-(1-Nitro-2-oxocycloheptyl)propanal (**15**). – 2.1. *4-Oxodecandisäure* (**16**). Es wurden 1,60 g (7,5 mmol) **15** [3] analog *Versuch 1.6* umgesetzt: Rohausbeute 1,07 g (67%). Nach Chromatographie ($CHCl_3$, Kieselsäure) wurden 0,74 g (46%) **16** [4] isoliert, farblose Kristalle. Schmp. 108–110°. IR (KBr): 3700–2300 (COOH), 2940, 2870, 1697 (*br.*, CO), 1465, 1430, 1415, 1380, 1345, 1295, 1245, 1215, 1110, 1090, 1045, 965, 940, 830, 735, 675, 630. 1H -NMR: 2,76–2,60 (*m*, 4 H); 2,52–2,45 (*t*, 2 H); 2,39–2,32 (*t*, 2 H); 1,72–1,56 (*m*, 4 H); 1,43–1,30 (*m*, 2 H). ^{13}C -NMR (CD_3OD): 211,7 (*s*, CO); 177,5, 176,4, (2*s*, 2 COOH); 43,1, 37,9, 34,7, 29,6, 28,6, 25,8, 24,4 (7 *t*). CI-MS: 217 (22, $[M+1]^+$), 199 (100, $[M+1-H_2O]^+$). Anal. ber. für $C_{10}H_{16}O_5$ (216,24): C 55,55, H 7,46; gef.: C 55,43, H 7,49.

2.2. (*E*)-*4,5-Dihydro-5-(2'-oxocyclohexyliden)furan-2(3H)-on* (**13**). Bei der Umsetzung von 0,216 g (1,0 mmol) **16** analog *Versuch 1.7* wurden 60 mg (30%) **13** isoliert. Schmp. 87–89° (Cyclohexan, farblose Kristalle). Daneben wurden 50 mg (20%) **16** und 100 mg (50%) **17** (vgl. 2.3) erhalten. Zur Röntgenstrukturanalyse wurde eine Probe **13** aus AcOEt/Hexan umkristallisiert.

13: IR: 2945, 2870, 1812 (Lacton), 1685 (Keton), 1602 (C=C), 1440, 1430, 1410, 1345, 1325, 1310, 1290, 1260, 1135, 1095, 1060, 1010, 995, 955, 915, 900, 870, 825, 800, 755. IR (KBr): u. a. 1603, 1585. 1H -NMR: 3,37–3,26 (*m*, 2 H); 2,75–2,57 (*m*, 4 H); 2,43–2,33 (*t*, 2 H); 1,88–1,67 (*m*, 4 H). ^{13}C -NMR: 201,2 (*s*, C(2')); 174,2 (*s*, C(2)); 160,5 (*s*, C(5)); 113,2 (*s*, C(1')); 40,7, 27,5, 26,4, 25,3, 22,9, 22,6, (6 *t*). EI-MS: 180 (75, M^+), 153 (5), 152 (38), 151 (75), 135 (5), 126 (9), 125 (100), 124 (17), 123 (18), 111 (6), 109 (9), 97 (10), 96 (15), 95 (10), 83 (9), 82 (6), 81 (9), 79 (14), 77 (5), 69 (15), 68 (13), 67 (12), 57 (5), 56 (16), 55 (45), 54 (10), 53 (10), 51 (5), 43 (15), 42 (12), 41 (36), 40 (13). Anal. ber. für $C_{10}H_{12}O_3$ (180,21): C 66,65, H 6,71; gef.: C 66,41, H 6,76.

Nach [4] wurde aus Cyclohexanon und Bernsteinsäure-dichlorid eine Substanz hergestellt, die in allen Eigenschaften (Schmp., DC, IR, 1H - und ^{13}C -NMR, Misch- ^{13}C -NMR, MS) mit **13** übereinstimmt. Auf dieser Basis ist die in [4] angegebene Struktur ((*Z*)-Isomer) zu revidieren.

2.3. *4-Oxo-4-(2'-oxocyclohexyl)butansäure* (**17**). Verbindung **17** entstand bei der säurekatalysierten Hydrolyse von **13** [4] und bei der Bildung von **13**, vgl. 2.2. Schmp. 119–121° (Cyclohexan). IR: 3400–2500 (COOH), 2950, 2870, 1750, 1715, 1710, 1625, 1590, 1445, 1420, 1400, 1350, 1320, 1295, 1255, 1245, 1205, 1170, 1075, 1055, 985, 975, 965, 945, 920, 880, 845, 820, 720, 680. 1H -NMR: 15,33 (*s*, 1 H, Enol); 2,81–2,64 (*m*, 4 H); 2,39–2,30 (*m*, 4 H); 1,74–1,66 (*m*, 4 H). ^{13}C -NMR: 200,3 (Keton); 179,2, 178,8 (2*s*, C(4), COOH); 106,6 (*s*, C(2')); 31,9, 30,2, 27,7, 23,3, 22,4, 21,3 (6 *t*). CI-MS: 199 (100, $[M+1]^+$), 181 (20). Anal. ber. für $C_{10}H_{14}O_4$ (198,22): C 60,59, H 7,12; gef.: C 60,01, H 7,11.

3. Reaktionen mit 4-Nitroheptandisäure-dimethylester (**19**). – 3.1. *Synthese von 19* [7]. CH_3NO_2 (30,5 g, 0,5 mmol) und Acrylsäure-methylester (43,5 g, 0,5 mmol) wurden in Gegenwart von 3 g *Triton B* in 20 ml *t*-BuOH

umgesetzt. Nach Aufarbeitung und Destillation im Kugelrohr (110–140°/0,03 mbar) resultierten *ca.* 28 g (*ca.* 50%) **19**.

3.2. *4-Nitroheptandisäure* (**20**). In 150 ml 18*N* wässr. H₂SO₄ wurden 4,66 (20 mmol) **19** auf 90° erhitzt. Nach 18 h wurde auf 23° abgekühlt, ges. NaCl-Lsg. zugefügt, mit Et₂O extrahiert, die org. Phase getrocknet und eingedampft: 3,1 g (76%) **20**. Eine Probe wurde aus CHCl₃/Hexan umkristallisiert, farblose Kristalle. Schmp. 81–83°. IR (KBr): 3600–2400 (COOH), 1700, 1550, 1445, 1425, 1385, 1340, 1275, 1210, 1090, 1065, 945, 865, 835, 810, 730, 675. ¹H-NMR ((D₆)DMSO/CDCl₃): 7,5–5,0 (br., COOH); 4,73–4,65 (*m*, H–C(4)); 2,32–2,25 (*m*); 2,17–2,02 (*m*). ¹³C-NMR ((D₆)DMSO): 173,0 (*s*, COOH); 86,7 (*d*, C(4)); 29,7, 28,1 (2 *t*). CI-MS: 206 (22, [M+1]⁺), 188 (100, [M–H₂O]⁺). Anal. ber. für C₇H₁₁NO₆ (205,17): C 40,98, H 5,40, N 6,83; gef.: C 40,62, H 5,30, N 6,62.

3.3. *3-(2',3',4',5'-Tetrahydro-2'-nitro-5'-oxo-2'-furyl)propansäure* (**21**). Zu 205 mg (1,0 mmol) **20** und 190 mg (3,3 mmol) KOH in 0,5 ml H₂O wurden bei 0° 1,5 ml CH₂Cl₂ und 65 mg (0,2 mmol) Kaliumhexacyanoferrat(III) in 0,5 ml H₂O und dann portionenweise 540 mg (2 mmol) K₂S₂O₈ [8] gegeben. Nach 20 min Rühren bei 20° wurde mit CH₂Cl₂ extrahiert; der Extrakt ergab 25 mg (16%) 1,6-Dioxaspiro[4.4]nonan-2,7-dion (**23**). Dem Ansäuern der H₂O-Phase mit verd. AcOH bei 0° folgte ein weiterer CH₂Cl₂-Auszug, der 80 mg (40%) **21** ergab; farblose Kristalle. Schmp. 91–94° (Zers.; AcOEt/Hexan). Die wässr. Phase enthielt fast reine *4-Oxoheptandisäure* (**22**) [5], die jedoch nicht isoliert wurde.

21: IR: 3500–2500 (COOH), 2940, 2860, 1822 (Lacton), 1720 (COOH), 1562 (NO₂), 1420, 1335, 1170, 1140, 1095, 940. ¹H-NMR (CD₃OD): 2,83–2,26 (*m*). ¹³C-NMR (CD₃CN): 175,4, 173,6 (2*s*, 2 CO); 115,8 (*s*, C(2')); 33,2, 31,9, 28,5, 27,2' (4 *t*). CI-MS: 185 (5, [M–H₂O]⁺), 157 (100, [M–NO₂]⁺). Anal. ber. für C₇H₉NO₆ (203,15): C 41,39, H 4,47, N 6,89; gef.: C 41,67, H 4,34, N 6,67.

Wurde **20** unter gleichen Bedingungen jedoch ohne Gegenwart eines Oxidationsmittels behandelt, so wurden neben **20** und **22** auch *ca.* 5% **23** isoliert; **21** wurde nicht nachgewiesen.

Eine Probe von **21** wurde geschmolzen und *ca.* 5 min bei 110° gehalten, wobei braune Gase entwichen. In der erkalteten Schmelze wurden **23** und **22** nachgewiesen. Das Produktverhältnis ist vom H₂O-Gehalt abhängig.

3.4. *1,6-Dioxaspiro[4.4]nonan-2,7-dion* (**23**). Zu 325 mg (0,22 mmol) **22** in 50 ml Benzol wurden 30 mg (0,16 mmol) TsOH · H₂O gegeben und 2 h gekocht, wobei das H₂O mittels Wasserabscheider entfernt wurde. Filtration über wenig Kieselsäure ergab 25 mg (80%) **23**. Schmp. 62–63° (EtOH). IR: 2950, 1790 (CO, sh), 1450, 1420, 1355, 1295, 1160, 1110, 1050, 990, 940, 880, 655. IR (KBr): 3020, 2990, 2980, 2950, 1785 (br., CO), 1450, 1425, 1410, 1360, 1300, 1230, 1165, 1120, 1095, 1050, 1000, 990, 930, 885, 820, 795, 710, 655. ¹H-NMR: 3,0–2,3 (*m*). ¹³C-NMR: 174,1 (*s*, CO); 112,4 (*s*, C(5)); 32,3, 27,8, (2 *t*). CI-MS: 157 ([M+1]⁺). Anal. ber. für C₇H₈O₄ (156,14): C 53,85, H 5,16; gef.: C 53,86, H 4,89.

Verbindung **23** wurde auch nach [5] hergestellt; beide Präparate sind identisch.

3.5. *4-Oxoheptandisäure* (**22**). Zu 0,37 g (2,37 mmol) **23** in 25 ml H₂O wurde 1,0 g (18,0 mmol) KOH gegeben und 10 min gerührt. Dann wurde bei 0° mit 1*N* wässr. HCl angesäuert, die Lsg. bei 50° i.V. eingedampft und der Rückstand mit Aceton ausgezogen. Nach dem Eindampfen wurden 0,40 g (97%) **22** (Rohprodukt) erhalten, farblose Kristalle. Schmp. 141–142° (AcOEt/Hexan). IR (KBr): 3700–2300 (COOH), 2930, 1695 (br., CO), 1430, 1410, 1380, 1350, 1325, 1290, 1260, 1245, 1220, 1195, 1150, 1100, 1030, 1020, 965, 930, 910, 845, 815, 805, 710, 670, 610. ¹H-NMR (CD₃OD): 4,94 (br., 2 COOH); 2,79–2,71 (*m*, 4 H); 2,57–2,50 (*m*, 4 H). ¹³C-NMR (CD₃OD): 209,7 (*s*, CO); 176,3 (*s*, COOH); 37,9, 28,7 (2 *t*). CI-MS: 175 (5, [M+1]⁺), 157 (100, [M+1–H₂O]⁺). Anal. ber. für C₇H₁₀O₅ (174,16): C 48,28, H 5,79; gef.: C 48,19, H 5,68.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] K. Kostova, M. Hesse, *Helv. Chim. Acta* **1984**, *67*, 1725.
- [2] W. Huggenberg, M. Hesse, *Helv. Chim. Acta* **1983**, *66*, 1519 und darin zit. Arbeiten.
- [3] A. Zürcher, unveröffentlichte Versuche.
- [4] S. Hünig, E. Lücke, *Chem. Ber.* **1959**, *92*, 652; S. Hünig, Dtsch. Patent Nr. 1193039, 1966.
- [5] R. J. Pariza, F. Kus, P. L. Fuchs, *Synth. Commun.* **1983**, *13*, 243.
- [6] Th. R. Hoye, D. R. Peck, P. K. Trumper, *J. Am. Chem. Soc.* **1981**, *103*, 5618.
- [7] D. W. Chasar, *Synthesis* **1982**, 841.
- [8] L. C. Garver, V. Grakauskas, K. Baum, *J. Org. Chem.* **1985**, *50*, 1699.
- [9] K. Kostova, M. Hesse, *Helv. Chim. Acta* **1984**, *67*, 1713.
- [10] S. Torii, R. Inokuchi, R. Oi, *J. Org. Chem.* **1983**, *48*, 1944.
- [11] S. Hünig, W. Lendle, *Chem. Ber.* **1960**, *93*, 913.