

## Der Einfluss mehrjähriger Partnerschaften auf die künftige Entwicklung der AIDS-Epidemie

Helmut Knolle

Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern

Die Frage, in welchem Umfang die Sexualkontakte in beidseitig treuen Partnerschaften von 1- bis 10-jähriger Dauer zur Ausbreitung des HIV beitragen können, wird gegenwärtig kontrovers diskutiert. Dies ist nicht nur auf die Unsicherheit der empirischen Daten zurückzuführen, sondern auch auf unterschiedliche theoretische Ansätze und Modellvorstellungen. Einige Autoren<sup>1–5</sup> haben langfristige Prognosen gewagt, die sich teils auf Computersimulationen, teils auf Berechnungen oder Schätzungen der Basisreproduktionszahl der HIV-Infektion stützen. Dieser Begriff, der unter dem Namen „basic reproductive rate“ in der mathematisch orientierten Literatur über Epidemien und endemische Infektionskrankheiten schon seit fast 40 Jahren benutzt wird<sup>6</sup>, hat dank zwei Artikeln in einer international sehr weit verbreiteten Zeitschrift<sup>1,2</sup> nunmehr Eingang gefunden in die interdisziplinäre Diskussion über AIDS. Nach der dort vorgetragenen Theorie würde eine Epidemie immer dann und nur dann stattfinden, wenn die Basisreproduktionszahl  $R$  grösser als 1 ist, und in diesem Fall wäre langfristig eine HIV-Endemie zu erwarten. Die Autoren berechnen in<sup>2</sup> aufgrund von Seroprävalenzstudien aus den Jahren 1980–1986 für schwangere Frauen in Nairobi den Wert  $R = 4,6$ , und für Prostituierte in Nairobi sogar  $R = 11,2$ . Ungeachtet der vielfältigen Unterschiede zwischen Afrika und den westlichen Industriestaaten spekuliert Gordon<sup>7</sup>, dass  $R = 4$  annähernd für Heterosexuelle in allen Kontinenten gelten könnte. Da Gordon, der Argumentation in<sup>2</sup> folgend, davon ausgeht, dass die Verhinderung einer Epidemie gleichbedeutend ist mit der Reduzierung von  $R$  auf einen Wert unter 1, ist seine Prognose deprimierend.

In<sup>1</sup> berechnen die Autoren  $R$  nach der folgenden Formel

$$R = \beta c D \quad (1)$$

wo die Faktoren  $\beta$ ,  $c$  und  $D$  folgende Bedeutung haben:

$\beta$  = Wahrscheinlichkeit, dass eine Partnerschaft mit einem HIV-Träger zu einer Infektion führt

$c$  = Anzahl der sukzessiven Partner pro Zeiteinheit

$D$  = Dauer der Infektiosität (= Inkubationszeit von AIDS, wenn die sexuelle Aktivität bei Ausbruch von AIDS beendet wird).

Die Formel scheint konform zu sein mit der üblichen Definition, wonach die Basisreproduktionszahl die Anzahl der Infektionen ist, die eine infektiöse Person während ihrer Infektionsperiode in der noch völlig HIV-negativen Bevölkerung hervorrufen würde. Die gleiche Formel, lediglich mit anderen Bezeichnungen, wurde von Dietz<sup>3</sup> und erst kürzlich wieder von Weyer<sup>4</sup> angegeben. Weyer, der leider vom üblichen Sprachgebrauch abweicht (das „Ansteckungspotential“  $k$  ist nichts anderes als  $R$ ), behauptet, dass „weitgehend unabhängig von der Sexualpraktik bereits 5 Partner pro Leben bzw. ein neuer Partner alle 9 Jahre genügen, damit eine infizierte Person eine Neuinfektion generiert und somit die Seuche reproduziert.“ Mit den Annahmen  $\beta = 0,95$ ,  $c = 1/9$  pro Jahr,  $D = 10$  Jahre errechnet man nach Gleichung (1) in der Tat  $R = 1,06$ .

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass der Begriff der Basisreproduktionszahl, der aus der Epidemiologie der akuten Infektionskrankheiten hervorgegangen ist, wesentlich modifiziert werden muss, wenn er auf die HIV-Infektion angewendet werden soll. Die Modifikation ist notwendig, weil das Altern der HIV-Positiven während der langen Infektionsperiode nicht vernachlässigt werden darf und weil bei der Ansteckung durch sexuelle Kontakte eine positive Korrelation zwischen dem Alter des Partners, von dem sie ausgeht, und des Partners, bei dem sie ankommt, zu erwarten ist. Eine erweiterte Definition der Basisreproduktionszahl, die diese beiden Faktoren berücksichtigt, wurde mit Hilfe einer mathematischen Methode (Matrizenrechnung) in einer früheren Arbeit gegeben<sup>8</sup>. Im folgenden werden die Grundideen jener Arbeit allgemeinverständlich dargestellt, und es werden Folgerungen gezogen für die Prognose der AIDS-Epidemie in der heterosexuellen Bevölkerung mit relativ stabilen Partnerbindungen.

### Allgemeine Voraussetzungen

In dieser Arbeit wird ausschliesslich die HIV-Übertragung durch hetero- oder homosexuellen Kontakt untersucht. Ferner beschränken wir uns auf Personen, die ausserhalb einer monogamen Partnerschaft ebenso wie in der Zeit zwischen zwei Partnerschaften keine sexuellen Kontakte haben (serielle Monogamie).

Es wird angenommen, dass die Dauer der Partnerschaften nicht konstant ist, sondern eine Exponential-Verteilung mit dem Parameter  $\sigma$  hat, dass also eine Partnerschaft mit Wahrscheinlichkeit  $e^{-\sigma t}$  mindestens  $t$  Jahre dauert. Anschaulich bedeutet dies z. B. für  $\sigma = 1$  ( $\sigma = 0,5$ ), dass von 100 Partnerschaften

61 länger als 6 (12) Monate  
37 länger als 1 (2) Jahre  
13 länger als 2 (4) Jahre

dauern. Je kleiner der Trennungsparemeter  $\sigma$  ist, desto länger dauern die Partnerschaften. Die mittlere Dauer ist  $1/\sigma$  d.h. 1 Jahr für  $\sigma = 1$  und 2 Jahre für  $\sigma = 0,5$ . Bei den folgenden Berechnungen liegt die mittlere Partnerschaftsdauer in allen Fällen zwischen 1 und 10 Jahren.

Ferner wird angenommen, dass die Frequenz der sexuellen Kontakte während der Inkubationszeit von AIDS konstant ist und beim Ausbruch von AIDS auf null sinkt. Die Inkubationszeit hat die konstante Dauer  $D = 10$  Jahre.

Während die ersten Modelle der HIV-Ausbreitung von einer zeitlich konstanten Infektiosität ausgegangen sind, wird heute von den meisten Autoren eine variable Infektiosität angenommen. In dieser Arbeit setzen wir zuerst konstante und dann variable Infektiosität voraus, da wir u. a. zeigen wollen, dass die Wirkung der Partnerbindung und der Alterskorrelation durch eine niedrige Infektiosität in der mittleren Phase der Inkubationszeit von AIDS noch verstärkt wird.

In Paaren, in denen ein Partner infektiös ist, hat die Dauer bis zur Infektion des anderen Partners eine Exponential-Verteilung, wenn die Frequenz der sexuellen Kontakte und die Infektiosität konstant sind. Der Parameter dieser Verteilung, der mit  $\lambda$  bezeichnet sei, ist das Produkt aus Kontaktfrequenz und Infektiosität pro Kontakt. Im folgenden ist in Übereinstimmung mit den Annahmen von Weyer<sup>4</sup>  $\lambda = 0,3$  gesetzt.

Die Annahmen für den Fall der variablen Infektiosität und für die Alterskorrelation werden im übernächsten Abschnitt präzisiert.

### **Einfluss der Partnerbindung**

Wir betrachten mit Weyer<sup>4</sup> Personen, deren Partnerschaften ohne Pause aufeinanderfolgen und im Mittel 9 Jahre dauern, und fragen, wieviele Partner eine solche Person, die gerade infiziert wurde, in  $D$  Jahren infizieren könnte. Die Zahl der infizierten Partner, von Weyer mit  $k$  bezeichnet, hängt nun entscheidend davon ab, ob diese Person selber durch ihren Partner oder durch einen nicht-sexuellen Blutkontakt infiziert worden ist. Für beide Fälle wurde in<sup>8</sup> eine Formel angegeben. Danach ist bei einer Infektionsperiode von  $D = 10$  Jahre  $k = 0,61$  im ersten Fall, und  $k = 1,34$  im zweiten Fall. Der

Grund für diesen Unterschied ist leicht zu erkennen: im ersten Fall hat die infizierte Person zu Beginn ihrer Infektionsperiode einen bereits infizierten Partner, und erst nach Trennung von diesem kann sie die Infektion weitergeben. Diesen Effekt, den man als Quarantäneeffekt der Monogamie bezeichnen könnte, hat Weyer bei seinen Berechnungen nicht berücksichtigt, und er kommt daher zu einem viel grösseren Wert von etwa 1,1.

Die Formel mit dem Quarantäneeffekt lautet unter der Annahme des nahtlosen Übergangs zur nächsten Partnerschaft

$$k = \frac{\lambda\sigma}{\lambda + \sigma} \left( D - \frac{1}{\lambda + \sigma} \right) \quad (2)$$

wie man aus Gl. (7a) der zitierten Arbeit<sup>8</sup> durch den Grenzübergang  $\varrho \rightarrow \infty$  herleiten kann.

Für eine mittlere Partnerschaftsdauer von 5 Jahren ( $\sigma = 0,2$ ) errechnet man  $k = 0,96$ . Offenbar wird  $k > 1$  erst erreicht, wenn die Partnerschaften im Mittel weniger als 5 Jahre dauern. Aber selbst wenn  $k > 1$  ist, muss noch keine Epidemie ausbrechen. Dies soll im nächsten Abschnitt gezeigt werden.

### **Einfluss der Alterskorrelation**

#### *a) Problemstellung*

Bei der mathematischen Modellierung von chronischen Infektionen wie Hepatitis, Tuberkulose oder HIV/AIDS darf das Älterwerden während der infektiösen Periode nicht vernachlässigt werden. Zur Einführung in das Problem betrachten wir zunächst den Fall  $k = 1$  und vergleichen die Infektion mit einer Nachricht, die von Personen auf einer Rolltreppe weitergegeben wird. Wenn die Personen in einer Reihe, aber ohne Lücke auf der Rolltreppe stehen, sind zwei Fälle denkbar: die Nachricht läuft in der Fliessrichtung oder entgegengesetzt. Im ersten Fall bricht die Kette ab, obwohl  $k = 1$  ist. Im andern Fall erhalten alle künftigen Benutzer der Rolltreppe die Nachricht. Bei der HIV-Übertragung durch homosexuellen Kontakt entspricht die Position auf der Rolltreppe dem Alter, und aus dem Vergleich wird klar, dass es nicht nur darauf ankommt, wieviele Personen von einem HIV-Träger angesteckt werden, sondern auch auf die Zeitdauer zwischen Erwerb und Weitergabe der Infektion und auf den Altersunterschied zwischen Infektor und Infektanden.

Die HIV-Übertragung durch heterosexuellen Kontakt mit starker Alterskorrelation kann mit der Weitergabe einer Nachricht zwischen zwei parallelen, gleichlaufenden Rolltreppen verglichen werden, wobei nun allerdings ein konstanter Altersunterschied zwischen männlichem und weiblichem

Tab. 1. Abhängigkeit der Basisreproduktionszahl (nach <sup>8</sup>) von Partnerschaftsdauer, Alterspräferenz und Sexualpraktik.

p		0	5	10	20	30
PD						
1 Jahr	a)	0,55	0,78	0,86	0,96	1,01
	b)	0,18	0,25	0,27	0,30	0,32
2 Jahre	a)	0,30	0,46	0,52	0,60	0,64
	b)	0,11	0,16	0,18	0,20	0,22

PD = mittlere Partnerschaftsdauer.  
 p = Prozent der 23 bis 33 J. alten Männer mit einer Partnerin aus der nächst jüngeren Altersgruppe.  
 a = alle Sexualkontakte ungeschützt.  
 b = jeder fünfte Sexualkontakt ungeschützt.

Partner mit gleicher Höhe auf der Rolltreppe vereinbar ist (der Beginn der Rolltreppe entspricht bei beiden Geschlechtern dem Alter beim ersten Sexualkontakt). Die entscheidende Grösse ist daher nicht die Altersdifferenz sondern die Alterskorrelation. Eine niedrige Alterskorrelation wird in diesem Bild durch häufiges Vor- und Zurückspringen der Nachricht dargestellt.

Für Heiraten hat die UNO Kreuztabellen mit dem Alter der Partner aus allen Ländern, in denen solche Daten gesammelt wurden, veröffentlicht <sup>9</sup>. Die Tabellen zeigen für Europa und Nordamerika eine hohe Korrelation zwischen dem Alter der Eheleute, die allerdings mit höherem Alter abnimmt. In Lateinamerika ist die Korrelation deutlich niedriger (Ehen zwischen älteren Männern und wesentlich jüngeren Frauen sind häufiger) als in Europa, während für die meisten Länder Afrikas entsprechende Daten fehlen. Für nicht registrierte Partnerschaften kann das Alter beider Partner z. B. durch eine repräsentative Befragung erhoben werden. Die Tabellen 1 a) und 1 b) zeigen Ergebnisse einer Befragung in der Schweiz. Wie zu erwarten war, ist auch hier die Korrelation zwischen dem Alter der Partner sehr hoch.

Die Alterskorrelation ist für die HIV-Epidemiologie deshalb von überragender Bedeutung, weil zwischen dem Erwerb und der Weitergabe der Infektion durch sexuelle Kontakte in stabilen Partnerschaften viele Jahre vergehen können. Wie bereits früher gezeigt wurde <sup>8</sup>, werden selbst unter der Annahme einer konstanten Infektiosität und Koitusfrequenz in der zweiten Hälfte der Inkubationszeit von AIDS mehr Partner infiziert als in der ersten Hälfte, z. B. im Mittel nur 0,36 in der ersten gegenüber 0,6 in der zweiten Hälfte, wenn wie oben  $\lambda = 0,3$ ,  $\sigma = 0,2$ ,  $D = 10$  gesetzt wird.

Heute wird aber angenommen, dass die Infektiosität des HIV nach einem Maximum im 1. Jahr nach Infektion auf sehr niedrige Werte absinkt, um erst gegen Ende der Inkubationszeit wieder stark anzusteigen <sup>10</sup>. Das hat zur Folge, dass HIV-Transmissionen in der ersten Hälfte der Inkubationsperiode noch seltener sind als unter der Annahme der

Konstanz, und dies selbst dann wenn die niedrige Infektiosität in der Zwischenperiode durch stark erhöhte Werte im 1. Jahr kompensiert wird. Wenn wir die übrigen Annahmen beibehalten, aber z. B.  $\lambda = 3,0$  im 1. Jahr und  $\lambda = 0$  im 2. bis 5. Jahr setzen, dann ergibt sich aus Gleichung (2) mit  $D = 1$  nur noch  $k = 0,13$ , und dieser Wert für die Wahrscheinlichkeit einer HIV-Transmission in den ersten 5 Jahren der Inkubationszeit wird noch wesentlich kleiner, wenn zwischen je zwei Partnerschaften eine Pause liegt. Das bedeutet, dass Personen mit mehrjährigen treuen Partnerschaften die HIV-Infektion in den meisten Fällen erst gegen Ende der Inkubationszeit weitergeben können.

b) Methode und Modellannahmen

Mit der in <sup>8</sup> gegebenen Definition der Basisreproduktionszahl R kann man den Einfluss der Alterspräferenz auf die HIV-Ausbreitung gut voraussagen. Die im folgenden dargestellten Berechnungen haben experimentellen Charakter, d. h. es gehen Parameter mit willkürlich gewählten Werten ein, und das Ziel ist, die Änderung von R bei einer Änderung der Parameterwerte zu beobachten. Da der relativ häufige Partnerwechsel unter Jugendlichen vielfach als besonders gefährlich angesehen wird, betrachten wir ein Modell mit 3 weiblichen (16–21, 21–26, 26–31 Jahre) und 3 männlichen Altersgruppen (18–23, 23–28, 28–33 Jahre), die wir mit  $F_i$  und  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) bezeichnen. Wir setzen voraus, dass Partnerschaften zwischen  $F_i$  und  $M_i$  die Regel sind, dass aber jeweils der Prozentsatz p der Männer aus  $M_2$  und  $M_3$  Frauen aus der nächst jüngeren Altersgruppe als Partnerinnen hat. Bei gleicher Grösse aller 6 Gruppen muss dann der Prozentsatz p sowohl aus  $M_1$  als auch aus  $F_3$  ohne Partner(in) bleiben. Ferner setzen wir voraus, dass der Infektionsparameter  $\lambda$  im 1. Jahr (Frühphase) der Infektion den Wert 3,0, im 5., 6., 7. und 8. Jahr (Spätphase) den Wert 0,75 und sonst den Wert 0 hat. Das hat zur Folge, dass HIV-Transmissionen meistens in der Spätphase stattfinden, wobei es in Paaren des Typs  $F_i/M_i$  zu einer Verschiebung des Infektionsalters in eine höhere Altersgruppe kommt. Eine Sexualpraktik mit geringerem Risiko wird durch entsprechend kleinere Werte von  $\lambda$  wiedergegeben.

Ferner betrachten wir eine Variante dieses Altersgruppenmodells, in der nur der Prozentsatz p der Männer aus  $M_3$  eine Frau aus einer jüngeren Gruppe, und zwar aus  $F_1$ , als Partnerin hat.

c) Resultate

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellt.

Das Szenario, das durch  $p = 0$  beschrieben wird, erlaubt alle Paarbildungen in einem Bereich zwi-

### Prozent Frauen im Alter x mit Partner im Alter y (Schweiz 1991)

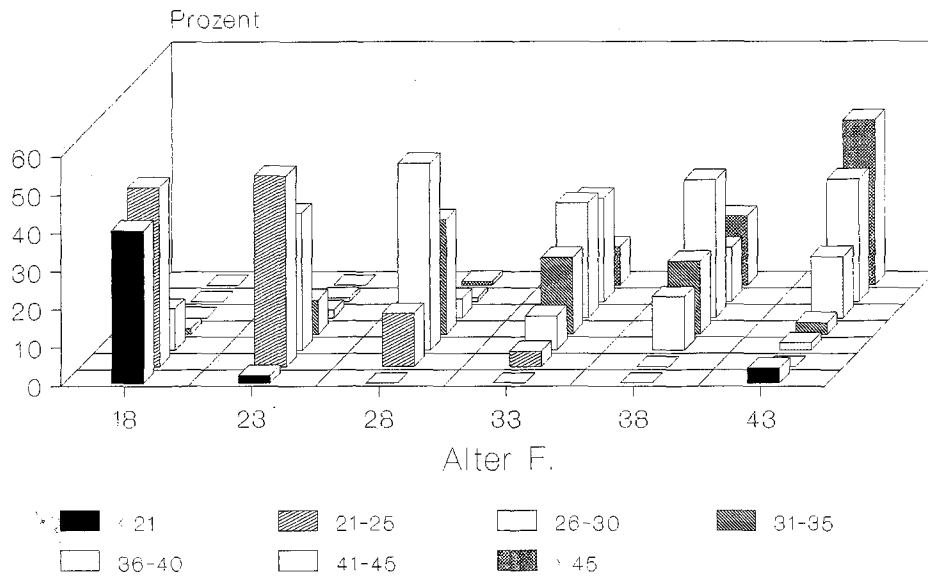


Abb. 1a. Altersverteilung des männlichen Partners nach Altersgruppe des weiblichen Partners in unverheirateten Paaren. Quelle: <sup>12</sup>.

### Prozent Männer im Alter x mit Partnerin im Alter y (Schweiz 1991)

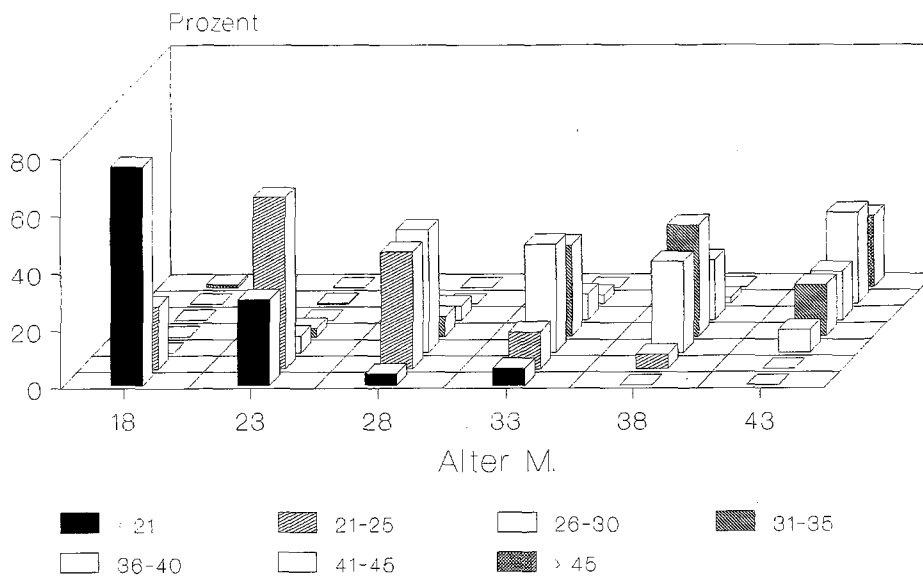


Abb. 1b. Altersverteilung des weiblichen Partners nach Altersgruppe des männlichen Partners in unverheirateten Paaren. Quelle: <sup>12</sup>.

schen den Extremen, wo die Frau 7 Jahre jünger bzw. 3 Jahre älter ist als der Mann. R liegt hier immer erheblich unter 1. Die Szenarien mit  $p = 5, 10, 20, 30\%$  beinhalten jeweils einen bestimmten Anteil von Paaren mit grösserer Altersdifferenz zwischen Mann und Frau. R steigt mit  $p$  an, obwohl der Prozentsatz  $p$  der Männer aus  $M_1$  und der Frauen aus  $F_3$  inaktiv ist, und ist in Tabelle 2 für

gleiche Werte von  $p$  und gleiche Partnerschaftsdauern grösser als in Tabelle 1. Das bedeutet, dass eine männliche Präferenz für im Mittel 12 Jahre jüngere Frauen während eines kurzen Lebensabschnitts (28–33 J.) gravierender ist als eine Präferenz für 7 Jahre jüngere Frauen während eines doppelt so langen Lebensabschnitts (23–33 J.). In Tabelle 1 ist ferner zu erkennen, dass unter den gemachten

Tab. 2. Abhängigkeit der Basisreproduktionszahl (wie in Tab. 1).

p	0	5	10	20	30
PD					
1 Jahr	0,55	0,98	1,11	1,27	1,40
2 Jahre	0,30	0,64	0,75	0,90	1,01

p = Prozent der 28–33 J. alten Männer, die eine 16–21 J. alte Frau als Partnerin haben.

Annahmen eine Reduktion des Risikos pro Kontakt um den Faktor 5 zu einer Reduktion von R um etwa den Faktor 3 führt.

#### d) Diskussion

Die erstaunlich niedrigen Werte der Basisreproduktionszahl der HIV-Infektion in der seriell monogamen Bevölkerung, die sich aus zahlreichen Berechnungen ergeben haben, erklären sich aus dem Zusammenwirken von drei Faktoren: dem Quarantäneeffekt der Monogamie, der Alterskorrelation zwischen den Partnern, und der Annahme einer Zwischenphase niedriger Infektiosität. An der Realität der beiden ersten Faktoren gibt es keinen Zweifel. Sie sind auch für sich allein wirksam und werden durch den dritten nur noch verstärkt. Der mögliche Einwand, dass der Verlauf der Infektiosität noch nicht restlos geklärt ist, kann daher die Aussage nicht prinzipiell in Frage stellen. Auch unter der Annahme einer konstanten Infektiosität führt die in <sup>8</sup> gegebene Definition von R nur zu einem Bruchteil des Wertes, der nach Gl. (1) zu erwarten wäre.

#### Zur Prognose der AIDS-Epidemie in Europa und Nordamerika

Bei jedem Versuch einer Prognose der AIDS-Epidemie in einem bestimmten Land ist davon auszugehen, dass die Teilbevölkerung, die sich gemäss den obigen Modellannahmen verhält, mit der restlichen Bevölkerung in Verbindung steht. Infolgedessen liegt dem gegenwärtig beobachteten Anstieg der heterosexuellen AIDS-Fälle in Europa und Nordamerika eine Überlagerung von zwei Effekten zugrunde: der Ansteckung von Heterosexuellen durch Heterosexuelle einerseits und durch Bisexuelle und i. v. Drogenbenützer andererseits. Solange der zweite Effekt überwiegt – und dies scheint in Europa und Nordamerika heute noch der Fall zu sein –, kann die HIV-Prävalenz unter Heterosexuellen ansteigen, auch wenn  $R < 1$  ist.

Auch in anderen Zusammenhängen ist es wichtig zu wissen, dass die HIV-Prävalenz in einer Population mit relativ geringem Risiko ansteigen kann, obwohl für diese Population  $R < 1$  ist. Das impliziert, dass

R für die allgemeine Bevölkerung nicht aus longitudinalen Prävalenzdaten geschätzt werden kann, wie es in <sup>2</sup> für schwangere Frauen in Nairobi getan wird. Fragwürdig ist dieser Ansatz auch deshalb, weil R für Männer und Frauen getrennt geschätzt wird, was bei der heterosexuellen Übertragung kaum sinnvoll ist.

Dietz <sup>3</sup> untersucht ein Modell der heterosexuellen HIV-Ausbreitung, das den Einfluss der Partnerbindung berücksichtigt, aber keine Altersstruktur aufweist. Unter sonst ähnlichen Voraussetzungen wie hier (u. a. mittlere Partnerschaftsdauer von 2 Jahren) sagt Dietz einen langsamen Anstieg der HIV-Prävalenz voraus, der nach etwa 900 Jahren den Gleichgewichtswert 17.8% erreichen würde. Zur Frage der Alterskorrelation heisst es dort:

„Preliminary results based on an age-dependent model indicate that the critical number of partners during a lifetime needed for persistence (of HIV) increases with the correlation of ages between partners“ (p. 408). Präzisere Angaben werden jedoch nicht gemacht, und die Konsequenzen für die Definition der Basisreproduktionszahl werden auch nicht diskutiert.

Weyer et al. <sup>5</sup> berichten von einer Computersimulation der AIDS-Epidemie in einer westdeutschen Grosstadt bis zum Jahre 2010. Die Simulation beruht auf einem mathematischen Modell mit 48 Differentialgleichungen und 8 Gruppen, die die Zusammensetzung der sexuell aktiven Bevölkerung einschliesslich der intravenös Drogenabhängigen wiedergeben sollen. In der Beschreibung des Modells werden zwar Altersklassen, aber keine altersspezifischen Partnerpräferenzen erwähnt. Es ist daher nicht überraschend, dass die Ergebnisse in die gleiche Richtung gehen wie Weyers Ausführungen über das Ansteckungspotential <sup>4</sup>. Für das Szenario, in dem keine Änderung des Verhaltens enthalten ist, behaupten die Autoren, dass die HIV-Epidemie bei Prostituierten und homosexuellen Männern ihren Höhepunkt bereits 1997 überschreiten werde, dass aber dann eine Epidemie in der bisher wenig betroffenen Gruppe der heterosexuellen Frauen und heterosexuellen Männer ohne Prostituiertenkontakt ausbrechen werde, so dass um das Jahr 2010 jährlich etwa 500 heterosexuelle Männer ohne Prostituiertenkontakt und 600 heterosexuelle Frauen pro 1 Mill. Grosstadtbevölkerung angesteckt würden. Diese Prognose könnte nur dann richtig sein, wenn das Verhalten des genannten Personenkreises ein  $R > 1$  implizieren würde. Dies ist aber bei den heute in Westdeutschland vorherrschenden Partnerschaftsdauern <sup>11</sup> und Alterspräferenzen äusserst unwahrscheinlich. Deshalb kann man die Prognose wagen, dass die HIV-Prävalenz bei heterosexuellen Frauen und heterosexuellen Männern ohne Prostituiertenkontakt etwa 5 bis 10 Jahre später als bei den Homosexuellen mit risikoreichem Verhalten ihr Maximum erreichen und dann wieder abnehmen wird.

Zusammenfassend können wir sagen, dass mathematische Modellrechnungen, die den Effekt der Partnerbindung und der Alterskorrelation nicht berücksichtigen, zwangsläufig zu einer Überschätzung der HIV-Inzidenz führen, die umso grösser ist, je länger die Partnerschaften dauern und je grösser die Alterskorrelation in homo- oder heterosexuellen Paaren ist. Entgegen den pessimistischen Prognosen in<sup>3-5</sup> und<sup>7</sup> führen die hier vorgelegten Resultate zu dem Schluss, dass es eine grosse heterosexuelle Epidemie in Europa und Nordamerika nicht geben wird, solange die Partnerschaftsdauer und die Alterskorrelation sich innerhalb der in dieser Arbeit angenommenen Bandbreite halten und solange bei Gelegenheitskontakten auf den Schutz, den ein Präservativ bietet, nicht verzichtet wird.

### Zusammenfassung

Langfristige Prognosen der AIDS-Epidemie in der allgemeinen Bevölkerung sind nur möglich auf der Grundlage eines epidemiologischen Modells, in das explizite Annahmen über das Partnerschaftsverhalten eingehen. Mehrere bisher vorgeschlagene Modelle für die heterosexuelle HIV-Übertragung enthalten implizit die Voraussetzung, dass die Partner unabhängig vom Alter gewählt werden. In der Wirklichkeit besteht jedoch, soweit Daten vorliegen, eine deutliche Korrelation zwischen dem Alter von Partnern. Ausserdem führen seltener Partnerwechsel und Monogamie dazu, dass heterosexuell erworbene HIV-Infektionen in der Regel gar nicht oder erst nach mehreren Jahren weitergegeben werden. Das Zusammenwirken beider Faktoren hat zur Folge, dass die Gefahr einer AIDS-Epidemie in der allgemeinen Bevölkerung umso geringer ist, je stärker das Alter der Partner miteinander korreliert.

### Résumé

#### L'évolution de l'épidémie du SIDA dans la population générale

Les prédictions à long terme de l'épidémie du SIDA dans la population générale ne sont possibles que sur la base d'un modèle épidémiologique pour lequel sont disponibles des hypothèses explicites sur le choix des partenaires ainsi que sur la durée des relations. Plusieurs modèles se sont intéressés jusqu'à maintenant à la transmission hétérosexuelle du VIH et ont prédit une incidence trop forte des cas de SIDA pour le siècle prochain, entre autres, parce qu'ils oublient de considérer la corrélation entre les âges des partenaires. Il s'écoule souvent plusieurs années entre l'acquisition et la transmission de l'infection VIH chez les hétérosexuels. Donc, la

corrélation implique que la plupart des chaînes d'infections sont interrompues parce que l'âge à l'année de l'infection augmente alors que des nouveaux liens sont ajoutés à la chaîne. Ces considérations peuvent être traduites en termes quantitatifs en adaptant le concept classique de taux de reproduction nette à l'infection VIH. De cette manière, l'impact sur la diffusion du VIH de l'influence de l'âge et de la durée de la relation seront analysés.

### Summary

#### The perspective of the AIDS epidemic in the general population

Long-term predictions of the AIDS epidemic in the general population are possible only on the basis of an epidemiologic model which contains explicit assumptions about partner choice and duration of partnerships. Several models proposed heretofore predict too many AIDS cases in the next century, because they neglect the correlation between ages of partners. In heterosexuals it is frequent that many years pass between acquisition and transmission of HIV. Therefore, the correlation implies that most infection chains are disrupted because the age in the year of infection increases as new links are added to a chain. These considerations can be put into quantitative terms by adapting the classical concept of the basic reproductive rate to the special situation of HIV infection. In this way the impact of age preference and partnership duration on the spread of HIV is analyzed.

### Literaturverzeichnis

- 1 May RM, Anderson RM. Transmission dynamics of HIV infection. *Nature* 1987; 326:137–142.
- 2 Anderson RM, May RM, McLean AR. Possible demographic consequences of AIDS in developing countries. *Nature* 1988; 332:228–234.
- 3 Dietz K. On the transmission dynamics of HIV. *Mathemat. Biosciences* 1988; 90:397–414.
- 4 Weyer J. Über das Ansteckungspotential HIV-infizierter Personen. *AIDS-Forschung* 1990; 5:31–40.
- 5 Weyer J, Schmidt B, Körner B. Ein Mehrgruppenmodell zur Simulation der epidemischen Dynamik von AIDS. *AIDS-Forschung* 1988; 3:154–156, 206–220.
- 6 Macdonald G. The analysis of equilibrium in malaria. *Trop. Dis. Bull.* 1952; 49:813–829.
- 7 Gordon R. A critical review of the physics and statistics of condoms and their role in individual versus societal survival of the AIDS epidemic. *J. Sex & Marital Therapy* 1989; 15:5–30.
- 8 Knolle H. Age preference in sexual choice and the basic reproduction number of HIV/AIDS. *Biometrical Journal* 1990; 32:243–256.
- 9 United Nations, Department of Economics and Social Affairs, Statistical Office. *Demographic Yearbook 1982. Table 29*, New York: United Nations, 1982:590–625.

- 10 *Rees M.* HIV infectiousness and the AIDS epidemic. *Scand. J. Soc. med.* 1989; 17:33–38.
- 11 *Kolb I.* Das Kreuz mit der Liebe. Hamburg: Gruner u. Jahr, 1980.
- 12 Evaluation de la prévention du sida en Suisse: Enquête sur les comportements de prévention du sida, population résidente 17–30 ans et 31–45 ans. Vague T 5, oct 1991. Lausanne: IUMSP, UEPP; Zürich: IPSO. Unpublished data.

**Danksagung**

Für kritische Kommentare zum Inhalt dieser Arbeit danke ich Frau Th. Stutz Steiger und Herrn N. Billo.

**Korrespondenzadresse:**

Dr. Helmut Knolle  
Thangässli 4  
CH-3150 Schwarzenburg /Schweiz